

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE**  
**FLORESTAS TROPICAIS - CFT**

**ANÉIS DE CRESCIMENTO E RADIOCARBONO NAS ANÁLISES DE**  
**INCREMENTO E VARIAÇÕES CELULARES EM ÁRVORES**  
**EXPLORADAS DE FLORESTAS EM SEGUNDO**  
**CICLO DE CORTE NO SUL DA AMAZÔNIA**

**Dirceu Lucio Carneiro de Miranda**

Manaus, Amazonas

Setembro, 2017

**DIRCEU LUCIO CARNEIRO DE MIRANDA**

**ANÉIS DE CRESCIMENTO E RADIOCARBONO NAS ANÁLISES DE  
INCREMENTO E VARIAÇÕES CELULARES EM ÁRVORES  
EXPLORADAS DE FLORESTAS EM SEGUNDO  
CICLO DE CORTE NO SUL DA AMAZÔNIA**

Dr. Niro Higuchi  
Orientador

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências de Florestas Tropicais, com ênfase em Manejo Florestal.

Manaus, Amazonas

Setembro, 2017

M672 Miranda, Dirceu Lucio Carneiro de

Anéis de crescimento e radiocarbono nas análises de incremento e variações celulares em árvores exploradas de florestas em segundo ciclo de corte no sul da Amazônia / Dirceu Lucio Carneiro de Miranda.---  
Manaus: [s.n.], 2017.  
65 f.: il.

Tese (Doutorado) --- INPA, Manaus, 2017.  
Orientador: Niro Higuchi  
Área de concentração: Ciências de Florestas Tropicais

1. Manejo florestal. 2. Floresta tropical úmida. 3. Anatomia da madeira.

CDD 634.956

**Sinopse:**

Foram estudadas nas espécies *Qualea paraensis* Duke e *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp a periodicidade dos anéis de crescimento, as variações celulares da madeira e as implicações para o manejo de uma floresta em segundo ciclo de corte no sul da Amazônia. Utilizou-se técnicas dendrocronológicas, datações de radiocarbono, análises anatômicas e densitometria de raios-x.

**Palavras-chave:** Manejo florestal, floresta tropical úmida, espécies de madeira comercial, diâmetro mínimo de corte, anatomia da madeira, densitometria de raios-x.



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS**

**DEFESA PÚBLICA TESE / PPG-CFT - INPA**

Ata da Defesa Pública da Tese de Doutorado de DIRCEU LUCIO CARNEIRO DE MIRANDA, aluno (a) do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS - CFT, realizada no dia 12 de setembro de 2017.

Aos doze dias do mês de setembro de 2017, às 14h30, na Sala de Aula do CFT, Campus III, INPA-V8, realizou-se a Defesa Pública da Tese de Doutorado intitulada: "ANÉIS DE CRESCIMENTO E RADIOCARBONO NAS ANÁLISES DE INCREMENTO E VARIAÇÕES CELULARES EM ÁRVORES EXPLORADAS DE FLORESTAS EM SEGUNDO CICLO DE CORTE NO SUL DA AMAZÔNIA", em conformidade com o Artigo 68 do Regimento Interno do PPG-CFT e Artigo 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI-INPA) como parte final de seu trabalho para a obtenção do título de DOUTOR (A) EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes professores doutores: JOAQUIM DOS SANTOS (INPA), ALBERTO CARLOS MARTINS PINTO (UFAM), GIL VIEIRA (INPA), ADRIANO JOSÉ NOGUEIRA LIMA (INPA), SEBASTIÃO DO AMARAL MACHADO (UFPR). O (a) Presidente da Banca Examinadora, Dr (a) Niro Higuchi (Orientador (a)), deu início à sessão convidando os senhores membros e o (a) doutorando (a) a tomarem seus lugares e informou sobre os procedimentos a serem observados para o prosseguimento do exame. A palavra foi, então, facultada ao (à) Doutorando (a) que apresentou uma síntese do seu estudo e respondeu às perguntas formuladas pelos membros da Banca Examinadora. Depois da apresentação e arguição, a referida Banca Examinadora se reuniu e decidiu por

Aprovar

A sessão foi encerrada às 16:40e, para constar eu, Ana Serra, Assistente em C&T do PPG-CFT lavrei a presente Ata, que depois de lida e aprovada foi assinada pelo Presidente e membros da Banca Examinadora.

Banca Examinadora:

Dr(a) JOAQUIM DOS SANTOS

Aprovado(a)  Reprovado(a)

Dr(a) ALBERTO CARLOS MARTINS PINTO

Aprovado(a)  Reprovado(a)

Dr(a) GIL VIEIRA

Aprovado(a)  Reprovado(a)

Dr(a) ADRIANO JOSÉ NOGUEIRA LIMA

Aprovado(a)  Reprovado(a)

Dr(a) SEBASTIÃO DO AMARAL MACHADO

Aprovado(a)  Reprovado(a)

  
Dr. Niro Higuchi  
Presidente da Banca/Orientador

  
Dr. José Francisco de C. Gonçalves  
Coordenador do PPGCFT

## DEDICATÓRIA

A **DEUS**, pelo privilégio da vida e por toda experiência proporcionada, e aos meus pais que souberam me criar e me educar para a vida, me encorajando para que eu pudesse chegar onde cheguei.

*Dedico*

## Agradecimentos

Agradeço a Deus.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e ao Programa de Pós-Graduação Ciências de Florestas Tropicais pela oportunidade do doutorado.

À Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT por permitir o meu afastamento até a conclusão desta tese.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida.

Aos professores e orientadores Niro Higuchi e Adriano Lima pela oportunidade de trabalhar em um grupo de pesquisa da Amazônia tão importante, por toda contribuição e ensinamentos que serão muito importantes para meu desenvolvimento profissional.

Aos professores do CFT-INPA e aos colegas de classe.

Aos funcionários do INPA que direta ou indiretamente tornaram possível este estudo.

Ao engenheiro florestal Levi L. da Cunha, por indicar e disponibilizar dados da área de estudo.

Ao professor João Vicente Latorraca, pelo apoio logístico e estrutural para a coleta e armazenamento de inúmeras amostras.

Ao professor Mario Tomazello Filho por disponibilizar a estrutura do laboratório de anatomia e dendrocronologia da ESALQ/Universidade de São Paulo e por permitir a realização das análises de densitometria de raios-x.

Ao técnico do laboratório de anatomia da madeira do INPA Jorge de Freitas.

Aos professores e amigos Jair Figueiredo do Carmo e Juliano de Paulo dos Santos pelo auxílio na coleta de dados e pelas valiosas conversas sobre a tese.

À pesquisadora Susan E. Trumbore pelas sugestões, revisões e contribuições nos manuscritos.

A toda equipe do laboratório de manejo florestal do INPA.

Ao Dr. Joaquim dos Santos, pela amizade e as animadas conversas nesse período.

A minha amiga Geise Goes Canalez, pela amizade e longas conversas sobre a Amazônia.

Ao Sr. Michelangelo Dal Pai Sandri, proprietário da Fazenda Aremissa III, por disponibilizar a área de estudo.

Aos meus amigos que apoiaram, diretamente ou indiretamente para a conclusão deste trabalho, sejam eles do INPA, de Manaus, de Sinop, da área ou não. Em especial ao amigo Guilherme Rodrigues Costa que sempre foi como um irmão pra mim em Sinop-MT.

A toda a minha família, em especial a minha mãe Hedy Carneiro, meu pai Dirceu Nunes de Miranda e meu irmão Daniel Oswaldo de Miranda pelo apoio e incentivo.

A Thaís Badini Vieira, minha amada esposa que conheci durante o doutorado e que me acompanha com carinho, amor e dedicação.

## RESUMO GERAL

Muitas florestas no sul da Amazônia estão entrando em um segundo ciclo de corte (CC), o que traz preocupações quanto à sustentabilidade dessas florestas. Os critérios atuais do manejo florestal podem não ser adequados principalmente a essas florestas e ocasionar uma super ou sub exploração dos recursos madeireiros. Aliado a isso, não se sabe se o impacto do manejo na floresta poderia desencadear variações radiais na anatomia do lenho das árvores e influenciar a qualidade da madeira extraída nessas florestas. Neste estudo, as análises envolvidas foram concentradas em duas espécies: *Qualea paraensis* Duke e *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp. As amostras para todas as análises provieram de discos dos troncos das árvores coletados de forma destrutiva, em uma floresta tropical úmida de terra firme manejada no sul da Amazônia. No capítulo 1, foi investigada a periodicidade anual dos anéis de crescimento, além de descrever os seus incrementos e estimar o diâmetro mínimo de corte (DMC) e o CC dessas espécies. Para esse propósito foram utilizadas combinações de técnicas dendrocronológicas com análises de radiocarbono e ajustes de equação para estimar o DMC e CC. Nas duas espécies os anéis foram considerados anuais e são delimitados por diferença de densidade em *Q. paraensis* e por faixa de parênquima marginal e zona fibrosa em *P. pendula*. No entanto, sem as análises de radiocarbono, constatou-se que podem ocorrer erros de aproximadamente 10% na delimitação e contagem de anéis em *P. pendula*. O incremento médio foi  $0,93 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,201$  em *Q. paraensis* e  $0,63 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,221$  em *P. pendula*. Pode-se afirmar que o histórico de exploração da floresta promoveu aumento no ritmo de crescimento apenas em *Q. paraensis*. A estimativa do DMC foi 53 cm em *Q. paraensis* e 42 cm em *P. pendula* com CC de 11 e 17 anos respectivamente. No capítulo 2, foram analisadas as variações da densidade e as dimensões celulares de fibras e vasos na direção medula-câmbio e a influência do manejo florestal nessas variações. Os discos foram preparados para a marcação anual dos anéis de crescimento e remoção de 10 amostras pré-definidas ao longo do raio para mensuração das fibras e vasos. A densidade foi obtida por densitometria de raios-x. Foram realizadas análises gráficas e comparativas entre as amostras nas diferentes posições radiais. Os resultados da densitometria de raios-x detectaram variações na densidade decorrente do manejo florestal em *Q. paraensis* e um lenho juvenil até 8 cm de raio em *P. pendula*. Houve aumento nas dimensões do diâmetro de vaso e diminuição na frequência dos vasos em *Q. paraensis*. Além do diâmetro de vaso, em *P. pendula* houve aumento do comprimento e da espessura da parede das fibras e diminuição da espessura total das fibras. A influência do manejo florestal foi mais evidente na área ocupada por vasos devido ao aumento nas dimensões do diâmetro de vaso e/ou frequência de vasos. Os resultados apresentados nesta tese permitem concluir: i) os critérios de manejo florestal no Brasil não se aplicam as espécies estudadas; ii) podem ocorrer erros na análises dos anéis de crescimento quando não são aplicadas datações com radiocarbono; iii) a madeira das espécies estudadas possui importantes variações radiais nos elementos anatômicos, inclusive devido a prática do manejo florestal as quais poderiam alterar a qualidade da madeira explorada dessas florestas.

## GENERAL ABSTRACT

Many forests in southern Amazonia are reaching the second cycle of cutting (CC), which raises concerns about these forest's sustainability. Current forest management criteria may not be suitable primarily for these forests and lead on to an over or under exploitation of timber resources. Allied to this, it is not known if the impact of the forest management would trigger radial variations in the anatomy of the logged trees and influence the quality of the wood extracted in these forests. In this study, the performed analyzes were concentrated in two species: *Qualea paraensis* Duke and *Parkia pendula* (Willd.) Benth. Ex Walp. All samples analyzed come from tree trunk discs, destructively collected in a tropical moist *terra-firme* forest managed in southern Amazonia. In chapter 1, an annual periodicity of rings growth was investigated, in addition to describing their growth and estimating the minimum logging diameter (MLD) and the CC for such species. For this purpose, techniques of dendrochronological and radiocarbon analyzes were combined and equation adjustments were used to estimate MLD and CC. In both species the rings were considered annual and are delimited by density difference in *Q. paraensis* and by marginal parenchyma band and fibrous zone in *P. pendula*. However, without radiocarbon analysis, it was observed that approximately 10% errors can occur in the delineation and ring count in *P. pendula*. The mean growth was  $0.93 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1} \pm 0.201$  in *Q. paraensis* and  $0.63 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1} \pm 0.221$  in *P. pendula*. It can be affirmed that the area's logging history promoted an increase in the growth rate only in *Q. paraensis*. The MLD estimative was 53 cm in *Q. paraensis* and 42 cm in *P. pendula* with 11 and 17 years of CC, respectively. In chapter 2, it was analyzed the variations in density and in the cellular dimensions of fibers and vessels in the medulla-cambial direction and an influence of the forest management on the variations of *Q. paraensis* and *P. pendula* wood. The disks were prepared for an annual identification of the growth rings and removal of 10 predefined samples along the radius for fiber and vessel measurement. The density was obtained by x-ray densitometry. Graphical and comparative analyzes were performed between samples in different radial positions. X-ray densitometry detected variations in density due to forest management in *Q. paraensis* and in juvenile wood it was up to 8 cm of radius in *P. pendula*. There was an increase in vessel diameter and a decrease in vessel frequency in *Q. paraensis*. In addition to the vessel diameter, in *P. pendula* there was a length and thickness increase of the fibers' wall and a decrease in the total thickness of the fibers. The influence of forest management was more evident in the area occupied by vessels due to the increase in vessel diameter and / or vessel frequency. The results presented in this thesis allow to conclude: i) the criteria of forest management in Brazil do not apply to the studied species; ii) errors in growth ring analysis may occur when no radiocarbon dating is applied; iii) the studied species of logged wood have important radial variations in the anatomical elements, especially due to this practice of forest management, which could alter the quality of the logged wood from these forests.

## Sumário

LISTA DE FIGURAS .....	ix
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
OBJETIVO GERAL .....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>5</b>
<b>Dendrocronologia e radiocarbono para a predição de incremento e ciclo de corte de árvores em floresta de terra firme explorada no sul da Amazônia .....</b>	<b>6</b>
RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	6
INTRODUÇÃO .....	7
MATERIAL E MÉTODOS .....	9
Área de estudo.....	9
Espécies estudadas e amostragem .....	10
Análises e medições dos anéis de crescimento .....	12
Análises de Radiocarbono <sup>14</sup> C.....	13
Incremento em diâmetro pré e pós exploração florestal.....	13
Modelagem do crescimento para obtenção do DMC e CC .....	14
RESULTADOS.....	16
Estruturas e limites dos anéis de crescimento das árvores .....	16
Datação por radiocarbono e datações cruzadas.....	18
Incrementos, diâmetro mínimo de corte (DMC) e ciclo de corte (CC).....	20
DISCUSSÃO.....	24
Estruturas e limites dos anéis de crescimento das árvores .....	24
Radiocarbono e os anéis de crescimento em árvores de florestas tropicais úmidas de terra firme .....	26
Incrementos e aplicações para o manejo florestal no sul da Amazônia .....	27
CONCLUSÕES.....	31
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>32</b>
<b>Variações na densidade e no tamanho das fibras e vasos da madeira de <i>Qualea paraensis</i> e <i>Parkia pendula</i> em floresta explorada no sul da Amazônia.....</b>	<b>33</b>
RESUMO .....	33
ABSTRACT .....	33
INTRODUÇÃO .....	34
MATERIAL E MÉTODOS .....	36
Local de coleta do material e espécies estudadas.....	36
Processo de amostragem e mensuração dos elementos celulares.....	37
Mensuração da densidade aparente (DA).....	39
Análises .....	40
RESULTADOS.....	41
Perfis densitométricos da madeira.....	41
Densidades e dimensões das fibras e vasos na direção medula-câmbio .....	42
<i>Qualea paraensis</i> .....	42
<i>Parkia pendula</i> .....	45
Relações entre as variáveis anatômicas, a densidade e os incrementos (ICA).....	48
DISCUSSÃO.....	49
Variação da densidade e do tamanho das fibras e vasos em espécies de árvores tropicais.....	49
Densidade .....	49
Fibras e vasos .....	51
CONCLUSÕES.....	53
SÍNTESE.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

- Figura 1.** Ilustração do sistema de informação geográfica em que: a linha vermelha indica uma estrada para exploração florestal; linhas inclinadas indicam faixas de exploração equidistantes em 50 metros; ponto verde, azul, amarelo e vermelho significam árvores de corte, remanescentes, porta sementes e protegidas por lei respectivamente; pontos pretos são os tocos (Árvores cortadas na primeira exploração) com um buffer de 25m; seta vermelha e preta indicam, respectivamente, árvores amostradas com e sem a influência direta da árvore cortada (toco) na primeira exploração. .... 11
- Figura 2.** Identificação e delimitação dos anéis de crescimento em uma fração do raio de *Q. paraensis*. Observe que a cada ponto preto corresponde a contagem de 10 anos. Dois pontos indica o ano 1950; três pontos indica o ano 2000. .... 12
- Figura 3.** Estrutura dos anéis de crescimento de *P. pendula* (A, B e C) e *Q. paraensis* (D e E) em uma floresta tropical úmida de terra firme no sul da Amazônia. *P. pendula*: Seta branca indica anéis de crescimento de fácil visualização; Seta azul indica anéis de média visualização; Seta vermelha indica anéis de difícil visualização que necessita do disco (visualização de toda a circunferência). Barra preta representa uma escala de 0,5cm. .... 17
- Figura 4.** Datação por radiocarbono vs. contagem anatômica. .... 19
- Figura 5.** Variações de incremento ( $ICA_d$ ) do diâmetro vs. idade cambial de duas espécies arbóreas de uma floresta tropical úmida de terra firme no sul da Amazônia. Cada linha cinza representa a variação de incremento em diâmetro de uma árvore individual; Linha preta mostra a variação do incremento médio de cada espécie quando  $n > 5$  amostras estavam disponíveis; Linha tracejada azul representa o incremento médio anual de cada espécie. .... 21
- Figura 6.** Trajetórias de crescimento em diâmetro de duas espécies arbóreas em uma floresta tropical úmida de terra firme no sul da Amazônia. Cada linha cinza representa a trajetória de crescimento individual da vida de uma árvore; Linhas pretas mostram o padrão de incremento médio de cada espécie quando  $n > 5$  amostras estavam disponíveis; Linha tracejada vermelha indica o diâmetro mínimo de corte estabelecido por lei (IN 05 de 02/07/2014) para o manejo florestal no Brasil. .... 21
- Figura 7.** Incremento médio anual ( $IMA_d$ ) pré 1987 (1978-1987) e pós 1987 (1988-1997) a exploração florestal. .... 23
- Figura 8.** Incremento médio anual ( $IMA_d$ ) pré 1987 (1978-1987) e pós 1987 (1988-1997) a exploração florestal. .... 23
- Figura 9.** Representação gráfica dos resultados das curvas de crescimento geradas a partir das equações ajustadas de diâmetro e volume das espécies *Q. paraensis* e *P. pendula*; A linha tracejada vermelha indica o DMC estabelecido por lei (IN 05 de 02/07/2014) para o manejo florestal no Brasil; Linhas tracejadas verdes indicam o DMC determinado pelo crescimento da espécie. .... 24

### Capítulo 2

- Figura 1.** Representação da seção radial com o local da retirada dos corpos de prova em linha tracejada vermelha (Posições radiais) e o respectivo anel para mensuração dos elementos anatômicos. .... 38
- Figura 2.** Mensuração dos elementos celulares. (A) diâmetro e frequência de vasos; (B) espessura total da fibra; (C) comprimento de fibras; (D) comprimento de elemento de vaso. .... 39
- Figura 3.** (A) Serra dupla para retirada da amostra; (B) Densitometro QTRS modelo 01X; (C) gráfico do perfil radial da DA da madeira. .... 40
- Figura 4.** Variações de DA vs. distância radial do plano transversal da madeira de *Q. paraensis*. Cada linha cinza representa a variação da DA de uma árvore individual; Linha preta mostra a variação da DA média quando  $n > 5$  amostras estavam disponíveis; Linha tracejada azul representa a DA média da espécie. .... 41
- Figura 5.** Variações de DA vs. distância radial do plano transversal da madeira de *P. pendula*. Cada linha cinza representa a variação da DA de uma árvore individual; Linha preta mostra a variação da DA média quando  $n > 5$  amostras estavam disponíveis; Linha tracejada azul representa a DA média da espécie. .... 42

- Figura 6.** Representação gráfica do comportamento dimensional das fibras em *Q. paraensis* com respectivos desvios-padrão. CF = Comprimento de fibra; EPF = espessura da parede das fibras; ETF = espessura total das fibras. .... 44
- Figura 7.** Representação gráfica do comportamento dimensional dos elementos de vaso em *Q. paraensis* com respectivos desvios-padrão. CEV = comprimento dos elementos de vaso; DV = diâmetro de vaso. .... 44
- Figura 8.** Representação gráfica do comportamento dimensional dos elementos de vaso em *Q. paraensis* com respectivos desvios-padrão. FV = frequência de vasos; AOV = área ocupada por vasos. .... 45
- Figura 9.** Representação gráfica do comportamento dimensional das fibras em *P. pendula* com respectivos desvios-padrão. CF = Comprimento de fibra; EPF = espessura da parede das fibras; ETF = espessura total das fibras. .... 47
- Figura 10.** Representação gráfica do comportamento dimensional dos elementos de vaso em *P. pendula* com respectivos desvios-padrão. CEV = comprimento dos elementos de vaso; DV = diâmetro de vaso. .... 47
- Figura 11.** Representação gráfica do comportamento dimensional dos elementos de vaso em *P. pendula* com respectivos desvios-padrão. FV = frequência de vasos; AOV = área ocupada por vasos. .... 48

## INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia legal abrange 59% do território brasileiro com aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup> (IBGE, 2017) e detém a maior floresta tropical do mundo: a floresta amazônica. Entretanto, essa floresta vem desaparecendo, totalizando até o ano de 2017 mais de 631 milhões de hectares de área desmatada (INPE, 2017). Em defesa da floresta amazônica, o governo brasileiro determinou em sua constituição de 1988 que o bioma Floresta Amazônica brasileira fosse considerado patrimônio nacional e que sua utilização deveria respeitar leis para assegurar a preservação do meio ambiente. Além disso, a Lei nº 12.651/2012 que estabelece o novo código florestal institui novos parâmetros para a proteção, preservação e conservação dos recursos naturais dessas florestas. Dessa forma, todo esse conjunto de leis deixa evidente a importância que esse bioma e seus recursos naturais representam para o país. Sabe-se que cerca de 53% da vegetação nativa ocorre em propriedades privadas e que o novo código florestal restringiu o desmatamento, entretanto ainda há um desafio em cumprir a legislação e preservar as florestas brasileiras, especialmente na Amazônia (Soares-Filho, 2014). Esse fato é atribuído a uma ineficaz fiscalização dos órgãos competentes os quais não conseguem conter definitivamente o desmatamento, tornando preocupante a conservação das florestas brasileiras.

Até o momento, uma das melhores alternativas de conservar a floresta e garantir a continuidade do fornecimento de madeira sem afetar os serviços e funções ambientais é por meio do manejo florestal (Groenendijk et al. 2014). A necessidade de embasar o manejo florestal com conhecimento científico é crescente à medida que se propõe a utilizá-lo como alternativa de uso sustentável para as florestas tropicais. De acordo com Higuchi (1994), “o manejo florestal trata de um conjunto de princípios, técnicas e normas, que tem por fim organizar as ações necessárias para ordenar os fatores de produção e controlar a sua produtividade e eficiência para alcançar objetivos definidos”. Na Amazônia brasileira, a maior parte das florestas tropicais manejadas comercialmente (~75%) estão nos estados do Pará e Mato Grosso (Hummel et al. 2010). No sul da Amazônia, onde está localizado o estado de Mato Grosso, muitas dessas florestas estão entrando em um segundo ciclo de corte. Entretanto, faltam informações que possibilitem melhorar o aproveitamento dos recursos madeireiros em termos de quantidade e qualidade sem afetar as funções da floresta.

Atualmente, o manejo florestal é regulamentado pela Instrução Normativa IN 05 de 11/12/2006, a qual não leva em consideração as variações no crescimento das espécies, mas define o diâmetro mínimo de corte (DMC) para qualquer espécie em 50 cm, sistema policíclico (CC) de 25 a 35 anos e remoção do volume de até 30 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Diante disso, são criadas

expectativas sobre a capacidade de gerenciamento dos planos de manejo florestal com grandes incertezas quanto a compatibilidade entre o crescimento das florestas exploradas e a duração do segundo ciclo de corte. A sustentabilidade ecológica das florestas manejadas depende do conhecimento sobre os incrementos das espécies comerciais (Brienen e Zuidema, 2006). Contudo, um dos principais desafios no manejo de florestas tropicais é a obtenção de dados confiáveis sobre o incremento das árvores, que são informações prévias para determinar os volumes de madeira e os ciclos de corte (Rosa et al. 2017). Uma das alternativas para a obtenção dos dados de crescimento é por meio de análise dos anéis de crescimento as quais são utilizadas com muito sucesso em árvores de clima temperado. Porém, existem incertezas com relação à anualidade desses anéis em espécies de florestas tropicais úmidas, especialmente em florestas de terra firme, onde a maior parte do manejo florestal em escala empresarial no Brasil é praticado.

Se por um lado é essencial entender a influência do ambiente e do manejo florestal sob o incremento das árvores em florestas exploradas, por outro lado, é importante conhecer a qualidade da madeira extraída dessas florestas. A própria expansão do setor florestal brasileiro depende de um melhor entendimento não somente da quantidade, mas também da qualidade da produção de madeira (Lima et al. 2015), o que atualmente também está associada à madeira proveniente de planos de manejo de florestas em segundo ciclo de corte. Apesar de uma relação com mais de 16.000 espécies arbóreas existentes na Amazônia (Ter Steege et al. 2016), é provável que cerca de 40 ou 50 espécies sejam exploradas comercialmente. Apesar disso, faltam informações a respeito da qualidade da madeira dessas espécies, sobretudo para as que passaram por manejo florestal. A qualidade da madeira está estreitamente associada às variações nos elementos anatômicos do lenho das árvores que ocorrem principalmente na densidade e nas dimensões celulares das fibras e dos vasos na direção medula-câmbio. Essas variações podem ser influenciadas pela idade, variação nos incrementos, espaçamento e práticas silviculturais (Viana, 2008), porém não se sabe se o manejo florestal seria capaz de inferir variações radiais na densidade e nas dimensões celulares da madeira. Sabe-se que determinadas variações nos elementos anatômicos podem, por exemplo, afetar a biomecânica da planta (Hietz et al. 2013), tornar mais eficiente o transporte de água na planta (Fan et al. 2009) ou ainda caracterizar a qualidade da madeira e estabelecer a matéria prima mais adequada para uma determinada aplicação (Longui et al. 2014a).

Fundamentado em questionamentos importantes para o avanço do manejo florestal, sobretudo de florestas exploradas no sul da Amazônia, esta tese foi dividida em dois capítulos. No capítulo 1, os anéis de crescimento são investigados em árvores exploradas em segundo

ciclo de corte de uma floresta manejada e apresentam implicações importantes para estudos dendrocronológicos e para o manejo florestal. Nesse capítulo, foram estudadas as estruturas, os limites e a periodicidade anual dos anéis de crescimento de *Q. paraensis* e *P. pendula* utilizando técnicas dendrocronológicas e análises de radiocarbono. As questões examinadas foram: a existência de anéis de crescimento anuais, o comportamento do crescimento e as implicações para o manejo florestal como a estimativa do diâmetro mínimo de corte e o ciclo de corte dessas espécies. No capítulo 2, foram estudadas as variações na densidade e nas dimensões celulares de fibras e vasos ao longo do plano transversal da madeira de *Q. paraensis* e *P. pendula*. Nesse capítulo, foi avaliado se o manejo florestal poderia influenciar variações na densidade e nas dimensões das fibras e vasos. Para esse propósito, além das análises anatômicas clássicas, utilizou-se a densitometria de raios-x. Ao final dos dois capítulos, espera-se que esta tese contribua com informações que possam auxiliar práticas de manejo florestal mais adequadas às florestas exploradas e possibilitem entender melhor como ocorrem as variações nos elementos anatômicos da madeira das espécies estudadas.

## OBJETIVO GERAL

Analisar se os critérios para a prática atual do manejo florestal são adequados para as espécies *Q. paraensis* e *P. pendula* em florestas exploradas e se a madeira extraída dessas espécies tem a sua qualidade alterada em decorrência da prática do manejo florestal. Com isso, pretende-se melhorar as práticas de manejo florestal empregadas em florestas sob segundo ciclo de corte no sul da Amazônia.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### Capítulo 1. Dendrocronologia e radiocarbono para a predição de incremento e ciclo de corte de árvores em floresta de terra firme explorada no sul da Amazônia

- Analisar se os anéis observados em árvores de *Qualea paraensis* e *Parkia pendula* são anuais utilizando técnicas dendrocronológicas e análises de radiocarbono;
- Descrever o crescimento dessas espécies e verificar diferenças de incremento pré e pós exploração florestal;
- Estimar o diâmetro mínimo de corte e o ciclo de corte para cada espécie.

### Capítulo 2. Variações na densidade e no tamanho das fibras e vasos da madeira de *Qualea paraensis* e *Parkia pendula* em floresta explorada no sul da Amazônia

- Analisar as variações da densidade e as dimensões celulares (fibras e vasos) na direção medula-câmbio;
- Avaliar a influência do manejo florestal nas variações descritas acima.

## CAPÍTULO 1

---

Miranda, D. L. C. de.; Higuchi, N.; Trumbore, S. E.; Latorraca, J. V. F.; Carmo, J. F.; Lima, A. J. N. Dendrocronologia e radiocarbono para a predição de incremento e ciclo de corte de árvores em floresta de terra firme explorada no sul da Amazônia. Submetido a *Trees*.

## Dendrocronologia e radiocarbono para a predição de incremento e ciclo de corte de árvores em floresta de terra firme explorada no sul da Amazônia

### RESUMO

No sul da Amazônia, muitas florestas tropicais estão entrando em um segundo ciclo de corte (CC). A aplicação do manejo florestal em sistema policíclico de 25 a 35 anos e diâmetro mínimo de 50 cm para todas as espécies da floresta pode levar a uma inadequada exploração dos recursos madeireiros. Informações sobre as variações de crescimento das espécies podem ser extraídas dos anéis de crescimento das árvores e mudar esse cenário, entretanto esses anéis podem não ser anuais em espécies tropicais. Com esse intuito, foi investigado a periodicidade dos anéis de *Qualea paraensis* e *Parkia pendula*, os seus crescimentos, diâmetro mínimo de corte (DMC) e CC. Foram utilizadas combinações de técnicas dendrocronológicas com análises de radiocarbono e ajustes de equações para estimar o DMC e CC. Os discos dos troncos foram coletados, destrutivamente, em uma floresta tropical úmida de terra firme manejada no sul da Amazônia. Nas duas espécies os anéis foram considerados anuais. No entanto, sem as análises de radiocarbono, constatamos que podem ocorrer erros de aproximadamente 10% na delimitação e contagem de anéis em *P. pendula*. O histórico de exploração da floresta promoveu aumento no ritmo de crescimento apenas em *Q. paraensis*. A estimativa do DMC foi 53 cm em *Q. paraensis* e 42 cm em *P. pendula* com CC de 11 e 17 anos respectivamente. Foi comprovado que os critérios de manejo florestal no Brasil não se aplicam a essas espécies; erros em análises de anéis de árvores podem ocorrer quando não são aplicadas datações com radiocarbono.

**Palavras-chave:** Manejo florestal; floresta tropical úmida; espécies de madeira comercial; diâmetro mínimo de corte; datação por radiocarbono.

### ABSTRACT

In the southern Brazilian Amazon, many managed forests are reaching a second cycle of cutting (CC). Forest management using a polycyclic system of 25 to 35 years and a minimum diameter of 50 cm for all forest species may lead to inadequate exploitation of timber resources. General and species-specific growth and yield rates are key information for estimating a robust CC. Information on growth variations of species can be extracted from tree rings. In this study, the periodicity of rings in *Qualea paraensis* and *Parkia pendula* trees were investigated and used to estimate growth and yield rates. Dendrochronological techniques for identification of rings were combined with radiocarbon analyses and equation adjustments to estimate the minimum logging diameter of felled trees (MLD) and CC. Samples were destructively collected from the selected tree species growing in an Amazonian moist forest. The rings were considered annual in both species. However, without radiocarbon analysis, it was observed that approximately 10% errors can occur in delimitation and ring count in *P. pendula*. The area's logging history promoted an increase in growth rate for *Q. paraensis* only. The MLD estimate was 53 cm for *Q. paraensis*, and 42 cm for *P. pendula*. The high growth rates of these species are reflected in a CC of 11 and 17 years, respectively. It is concluded that MLD and CC criteria applied in forest management plans in Brazil are not adequate for these species, and that errors in tree ring analysis may occur when radiocarbon dating is not used.

**Keywords:** Forest management; moist forest; commercial timber species; minimum logging diameter; radiocarbon dating.

## INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira foram desmatados 784.065 km<sup>2</sup> (dados não publicados), sendo que 631.865 km<sup>2</sup> após 1977 (INPE, 2017). O estado de Mato Grosso, localizado ao sul da Amazônia, responde por 27,1% desse desmatamento (INPE, 2017). Até o momento, o manejo florestal é uma das melhores formas de se manter a floresta, sendo essencial para garantir a continuidade do fornecimento de madeira sem afetar os serviços e funções ambientais (Groenendijk et al. 2014). No entanto, a qualidade com que o manejo florestal é aplicado nas florestas tropicais brasileiras é o que preocupa. O manejo florestal é regulamentado pela Instrução Normativa IN 05 de 11/12/2006, a qual não leva em consideração as variações no crescimento das espécies, mas define o diâmetro mínimo de corte (DMC) para qualquer espécie em 50 cm, sistema policíclico (CC) de 25 a 35 anos e remoção do volume de até 30 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Entretanto, é permitido o estabelecimento de DMCs e CCs específicos para cada espécie com base em estudos técnicos e ecológicos, mas apenas o estado do Amazonas (ver: Schöngart, 2008), implementou uma lei específica que leva em consideração as variações no crescimento das espécies em florestas inundáveis de águas claras. Isso ainda é muito pouco, pois a maior parte das florestas manejadas comercialmente na Amazônia brasileira está em florestas de terra-firme dos estados do Pará e Mato Grosso.

Existem expectativas sobre a capacidade de gerenciamento dos planos de manejo florestal no Brasil e grande incerteza em questões técnicas de compatibilidade entre o crescimento das florestas exploradas e a duração do CC. As estratégias para um CC sustentável na Amazônia deveriam levar em consideração as variações no crescimento das espécies florestais (Braz et al. 2014), caso contrário, o modelo de manejo aplicado ocasionaria uma super ou sub utilização do potencial madeireiro (Brienen e Zuidema, 2006). Nesse contexto, o dimensionamento do DMC e do CC baseado nas variações de incremento das espécies arbóreas são fundamentais para o contínuo fornecimento e manutenção dos recursos madeireiros da floresta. Uma espécie arbórea de densidade baixa por exemplo, com maiores incrementos, poderia alcançar o limite de diâmetro de corte antes do que uma espécie arbórea de maior densidade da madeira (ver: Schöngart et al. 2007). Assim, um dos principais desafios no manejo das florestas tropicais é a obtenção de dados confiáveis sobre o incremento das árvores, que são informações prévias para determinar os volumes de árvores comerciais e os CC (Rosa *et al.* 2017).

Os dados de incremento das árvores são geralmente obtidos em parcelas permanentes. Nas florestas tropicais do Brasil, essas parcelas muitas vezes monitoram apenas alguns

indivíduos das espécies exploradas e períodos relativamente curtos (<30anos) cobrindo apenas uma fração do tempo de vida da maioria das árvores, que conforme Chambers et al, (1998) pode chegar a 1500 anos. Outro inconveniente é o efeito da seleção juvenil para espécies tropicais, em que muitas árvores jovens suprimidas não irão atingir o tamanho de corte (Rozendal et al. 2010), o que pode refletir em subestimativa do crescimento das espécies. Em alternativa, a análise dos anéis de crescimento das árvores é utilizada com muito sucesso para descrever o crescimento das espécies em florestas com clima temperado. Embora alguns estudos (ver: Leoni et al. 2011; López et al. 2013) tenham utilizado anéis de crescimento para estimar o DMC e o CC em espécies tropicais, a formação anual dos anéis dessas árvores é mais difícil devido à falta de sazonalidade da temperatura ou de pulsos de água como no caso das várzeas.

Na última década, o número de trabalhos com observação e comprovação da anualidade dos anéis de crescimento em espécies tropicais vêm aumentando (Zuidema et al. 2012), embora a falta de sazonalidade intra-anual gere incertezas quando se trata de uma espécie da floresta tropical úmida (Ohashi et al. 2015). A anualidade dos anéis é mais facilmente comprovada em espécies decíduas (ver: Brien e Zuidema 2005; Brien et al. 2010a; Dünisch e Latorraca, 2016) ou ainda em espécies de florestas de planície de inundação (ver: Worbes, 2002; Schogart 2008; Scabin et al. 2012.). Essas condições provocam uma dormência cambial que favorece a formação anual dos anéis (Brien et al. 2016). Contudo, não é possível afirmar que seus anéis são anuais apenas observando ao longo do raio transversal do tronco de uma árvore. O rigor científico na determinação da periodicidade anual dos anéis dessas árvores é de extrema importância, pois é por meio das informações desses anéis que inúmeros trabalhos de relevância na área ecológica e florestal são desenvolvidos.

A periodicidade anual dos anéis de crescimento das árvores foi comprovada para 230 espécies tropicais (Brien, et al. 2016). Esses anéis são investigados e têm sua anualidade comprovada das seguintes formas: i) observações dos anéis com datações cruzadas dentro e entre árvores buscando um sinal comum (e.g. dendrocronologia); ii) Por meio da correlação significativa entre a largura dos anéis e dados climáticos (e.g. dendroclimatologia); iii) Por análises de datações por radiocarbono. Nas duas primeiras formas a replicabilidade dos métodos é prejudicada, pois podem haver erros não amostrais advindos da delimitação dos anéis e ainda os erros amostrais (incertezas) que não são conhecidos. A datação por radiocarbono é um método independente para a datação de crescimento das árvores (Worbes e Junk, 1989) e se baseia no pico de  $^{14}\text{C}$  na atmosfera causada por ensaios de armas nucleares acima do solo (Nydal Lovseth, 1981). Nesse período as incertezas são de  $\pm 1$  ano (Vieira et al. 2005; Wils et al. 2011; Santos et al. 2015) e têm permitido detectar problemas associados com técnicas

dendrocronológicas (ver: Soliz-Gamboa et al. 2011; Groenendijk et al. 2014). Quando combinada com as duas primeiras (ver: Fichtler et al. 2003; Andreu-Hayles et al. 2015), as datações por radiocarbono tornam os resultados de comprovação da anualidade dos anéis muito mais robustos e confiáveis. No entanto, em florestas tropicais úmidas de terra firme no sul da Amazônia, essa abordagem ainda não foi realizada. A comprovação da anualidade dos anéis e um estudo do crescimento em árvores dessa região traria implicações importantes para o manejo florestal no sul da Amazônia.

É evidente que o sucesso do manejo florestal depende da sustentabilidade ecológica da produção da madeira e, para tal, são requeridas informações fidedignas sobre as taxas de crescimento das espécies comerciais (Brienen e Zuidema, 2006). O entendimento da influência do ambiente e das atividades de exploração florestal (manejo florestal) no crescimento das árvores é essencial. Assim sendo, o presente estudo foi realizado em árvores da espécie *Qualea paraensis* Duke e *Parkia pendula* (Willd.) Benth. Ex Walp. em uma floresta de terra firme explorada com 1.413ha no sul da Amazônia, onde a periodicidade dos anéis de crescimento dessas espécies não tinham sido relatadas. Os principais objetivos desse estudo são (1) analisar se os anéis observados nessas árvores são anuais utilizando técnicas dendrocronológicas e análises de radiocarbono; (2) descrever o crescimento dessas espécies e verificar diferenças de incremento pré e pós exploração florestal; (3) estimar o DMC e CC para cada espécie. Para atingir esses objetivos, foram coletados discos de 30 árvores de *Q. paraensis* e 26 de *P. pendula* e realizadas 13 análises de radiocarbono em anéis dessas espécies. Assim, espera-se que as respostas obtidas neste estudo possam auxiliar nas práticas de manejo florestal aplicadas atualmente e melhorar o entendimento a respeito da sustentabilidade das florestas exploradas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

A área de estudo está situada em uma floresta tropical úmida de terra firme, descrita como Floresta Estacional Sempre-Verde (IBGE, 2012) localizada no Brasil, ao norte do estado de Mato Grosso, sul da Amazônia. Essa área é limitada pelas coordenadas geográficas E: 55°11'57'' - N: 11°15'10'' a uma altitude de 283 metros; o clima da região segundo classificação de Köppen é do tipo Aw, tropical, quente e úmido, com chuvas do tipo monçônico (Alvares et al. 2014). A precipitação média anual de 1974,5mm/ano, temperatura média anual de 24,7°C com mínima de 23,0°C e máxima de 26,84°C. O período chuvoso vai de outubro a

abril e inverno extremamente seco, com chuvas raras e distribuídas em quatro a cinco dias nos meses de junho, julho e agosto, concentrando totais muito baixos, entre 20 e 80mm (Souza et al. 2013).

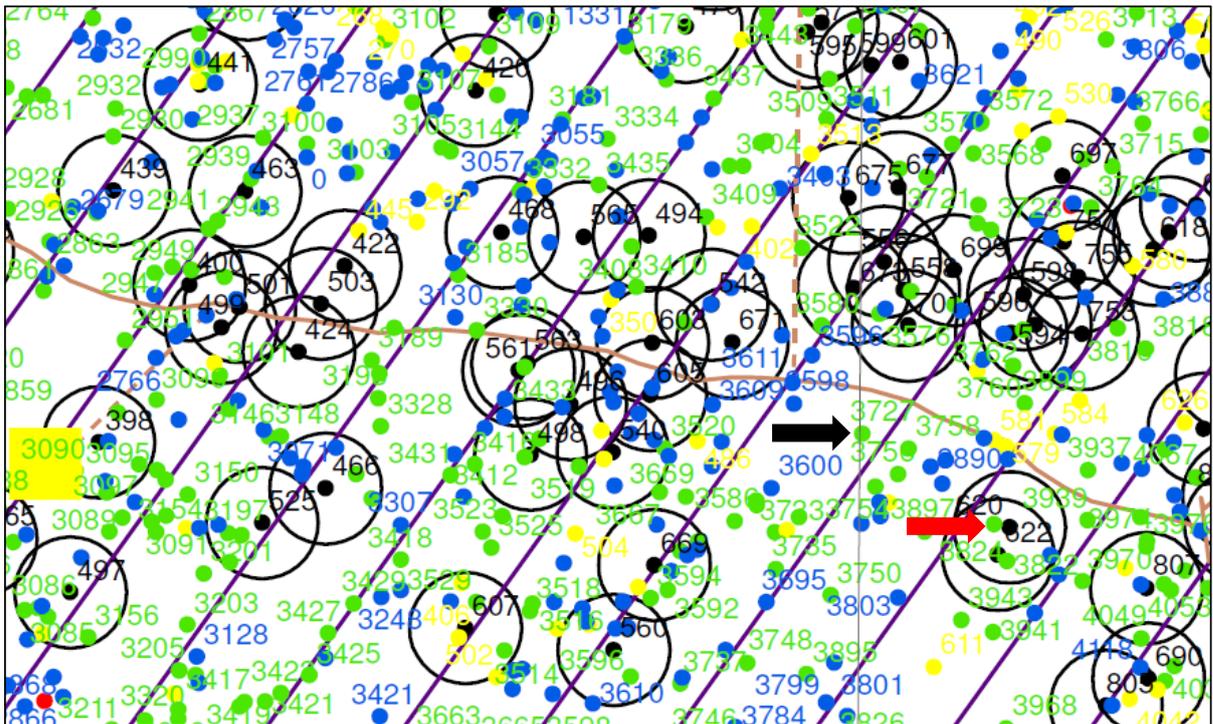
Os trabalhos de campo foram conduzidos no ano de 2013 em uma floresta com área de 1.413ha que já tinha sido explorada em uma intensidade de aproximadamente  $25\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$  (cerca de 5 árvores. $\text{ha}^{-1}$ ) no ano de 1987, ou seja, essa floresta está no segundo ciclo de corte. Na área foram inventariadas 18 espécies arbóreas comerciais, todas autorizadas para exploração em um projeto de manejo florestal aprovado junto ao órgão ambiental estadual (SEMA-MT). Atualmente os planos de manejo florestal sustentado seguem a Instrução Normativa IN 05 de 11/12/2006 (Lei federal) a qual define, entre outros, o diâmetro mínimo de corte para qualquer espécie em 50cm, sistema policíclico de 25 à 35 anos e remoção do volume de até  $30\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ . Além dessa lei, no estado de Mato Grosso, os planos de manejo florestal seguem a IN 05 de 02/07/2014 (lei estadual) a qual acrescenta, que para áreas que sofreram exploração seletiva, deverá ser apresentado um inventário dos tocos juntamente com o inventário florestal 100% das árvores comerciais acima de 30 cm de diâmetro. Dessa forma, na área de estudo, foi implantado um sistema de informação geográfica (SIG) em que todos os dados espaciais foram georreferenciados e incorporados a esse SIG.

### **Espécies estudadas e amostragem**

As espécies estudadas foram: *Qualea paraensis* Duke e *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp.. O critério comum e principal para escolha dessas espécies foi possuírem anéis de crescimento visíveis. Além desse critério, de acordo com o inventário florestal da área, a espécie *Q. paraensis* representou 34,8% das árvores exploradas no segundo ciclo de corte (2013) e a espécie *P. pendula* está entre as espécies com alto índice exploratório na Amazônia brasileira (Silva, et al. 2014).

*Q. paraensis* distribuí-se por toda a Amazônia, é uma árvore com altura de até 35m com tronco reto e cilíndrico e sua madeira é considerada pesada ( $0,78\text{g}/\text{cm}^3$ ) de textura dura e grosseira e utilizada para os mais diversos fins (Lorenzi, 2002). *P. pendula* é uma árvore de grande porte, 20 a 30m de altura, inconfundível pelo aspecto tabular de sua copa, com tronco cilíndrico e retilíneo (Loureiro et al. 2000). É amplamente usada na construção civil e em embarcações (Souza et al. 1997) e na Amazônia brasileira ocorre nos estados do Pará, Amazonas, Acre, Mato Grosso, Rondônia e Maranhão (Souza et al. 1997).

A amostragem foi realizada com auxílio do SIG onde foi possível identificar previamente as espécies de interesse e se as mesmas estavam localmente próximas ou não dos tocos das árvores cortadas na primeira exploração (Figura 1). Essas informações foram valiosas para entender se a primeira exploração florestal (1987) afetou o crescimento das espécies remanescentes estudadas. Aleatoriamente na área, foram retirados de forma destrutiva 30 discos (amostras) da espécie *Q. paraensis* e 26 de *P. pendula*. Todos os discos foram retirados próximos ao diâmetro à altura do peito (DAP) com espessura de 10cm em árvores sadias sem presença de ocos e distantes no mínimo de 100 metros entre elas. Todas as árvores tiveram seu DAP medido com fita métrica e altura medida com hipsômetro do tipo clinômetro. Essas árvores foram identificadas, sendo o material botânico depositado no Herbário Centro Norte Mato Grossosense – CNMT da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT com número de tomo 6697 e 6700 respectivamente.

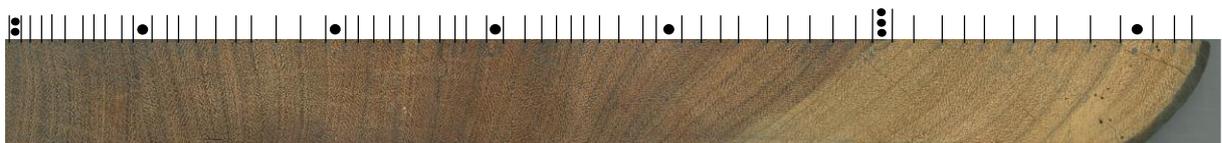


**Figura 1.** Ilustração do sistema de informação geográfica em que: a linha vermelha indica uma estrada para exploração florestal; linhas inclinadas indicam faixas de exploração equidistantes em 50 metros; ponto verde, azul, amarelo e vermelho significam árvores de corte, remanescentes, porta sementes e protegidas por lei respectivamente; pontos pretos são os tocos (Árvores cortadas na primeira exploração) com um buffer de 25m; seta vermelha e preta indicam, respectivamente, árvores amostradas com e sem a influência direta da árvore cortada (toco) na primeira exploração.

## Análises e medições dos anéis de crescimento

Foi investigada a anualidade dos anéis de crescimento das árvores das duas espécies descritas e seu potencial em aplicações para o manejo florestal no sul da Amazônia. Para isso, os discos de cada árvore foram secos em estufa e tiveram suas seções transversais polidas com diferentes gramaturas (de 50 até 1.000 grãos/mm<sup>2</sup>), proporcionando melhor contraste dos anéis. Essas amostras foram digitalizadas em um scanner com resolução de 1200 dpi. A delimitação dos anéis foi realizada em torno da circunferência do disco observando, quando existente, as estruturas anatômicas: (A) variação na densidade da madeira (B) faixa de parênquima marginal (C) zona fibrosa (D) variação da distribuição do tamanho dos vasos (Worbes e Fichtler, 2010). Após a delimitação, a largura dos anéis foi determinada para quatro raios usando um software de análise de imagens com precisão de 0,01mm.

A primeira análise foi estabelecer a datação cruzada dessas amostras. Essa datação consistiu em obter padrões de correspondência de largura dos anéis de diferentes árvores e atribuir um calendário comum para cada anel de crescimento analisado (Douglas, 1941). Inicialmente, foram utilizadas técnicas visuais (Yamaguchi, 1991) de datação cruzada para coincidir com os padrões de crescimento entre dois ou mais raios de uma mesma árvore. Esse método assegura a cronossequencia correta dos anéis de árvores em cada raio (Andreu-Hayles et al. 2015). A figura 2 mostra a identificação dos anéis em um raio de *Q. paraensis*. Dessa forma, os dados de largura dos anéis foram datados visualmente dentro e entre as árvores acompanhando a formação de cada anel por toda a extensão do disco de cada árvore. Depois, estatisticamente, a datação cruzada foi realizada por meio do programa COFECHA para o controle e verificação da sincronização das séries (raios) entre árvores (Holmes, 1983) a partir de uma janela de 50 com uma sobreposição de 25 anos e R-crítico de 0,3281. Dessas amostras, ainda foram selecionadas ao acaso 10 indivíduos para a comprovação da anualidade dos anéis por meio da datação por radiocarbono. Após as análises de datações cruzadas, também foram realizadas correlações entre a largura dos anéis de crescimento e os dados de clima (temperatura e precipitação) para um período disponível de 64 anos (1948-2012) (Kalnay, 1996).



**Figura 2.** Identificação e delimitação dos anéis de crescimento em uma fração do raio de *Q. paraensis*. Observe que a cada ponto preto corresponde a contagem de 10 anos. Dois pontos indica o ano 1950; três pontos indica o ano 2000.

## **Análises de Radiocarbono $^{14}\text{C}$**

As análises de radiocarbono deste estudo foram realizadas em cinco árvores da espécie *Q. paraensis* e cinco árvores da espécie *P. pendula*. As amostras para essas análises foram obtidas pela remoção do anel de crescimento datado preliminarmente pelas técnicas dendrocronológicas. Em cada amostra foi retirado cerca de 10-30 mg de material lenhoso constituído do anel referente. Esse procedimento foi realizado sob uma lupa de aumento 10x e auxílio de bisturi. Para a árvore 1 da espécie *Q. paraensis* optou-se em realizar 5 análises em anéis de crescimento datados previamente para os anos: 1964, 1974, 1984, 1994 e 2001. Para as demais árvores as análises foram realizadas nos anéis datados previamente em 1984. Caso esse anel apresentasse largura  $< 2\text{mm}$ , então a análise era realizada no anel anterior, aumentando a confiabilidade do material extraído.

A celulose foi extraída das amostras de madeira antes das análises de radiocarbono de acordo com o método padrão (Steinhof et al. 2017) e analisada na instalação Jena  $^{14}\text{C}$  AMS no Instituto Max-Planck de Biogeoquímica em Jena, Alemanha (Steinhof et al. 2004). Para estimar o ano em que C na celulose foi fixado da atmosfera, utilizamos o programa OxCal [versão 4.2 (Bronk Ramsey 2010)] com a curva de calibração para o hemisfério sul: Bomb 13 SH 1 2 (Hua et al. 2013; Andreu-Hayles et al. 2015). Os resultados do  $^{14}\text{C}$  foram relatados usando probabilidade de 95,4% conforme determinado pela análise  $^{14}\text{C}$  e as incertezas da curva de calibração (Bronk Ramsey et al. 2010) com um intervalo de confiança de 1,5 anos.

A periodicidade anual dos anéis é comprovada caso as datas preliminares coincidirem com o resultado das análises de  $^{14}\text{C}$ . Se houver uma discrepância entre as datações, será possível identificar erros de medição e efetuar possíveis correções na leitura dos anéis. (Andreu-Hayles et al. 2015). Nesse caso, essas correções podem ser aplicadas retornando nas amostras (discos) e fazendo novas avaliações dos limites dos anéis de crescimento, baseando-se nos resultados de alta precisão de  $^{14}\text{C}$  (incertezas  $< 1,5$  anos). Dessa maneira, podem ser detectados falsos anéis ou anéis localmente ausentes com maior confiabilidade (Soliz-Gamboa et al. 2011; Groenendijk et al. 2014).

## **Incremento em diâmetro pré e pós exploração florestal**

Foram utilizados os dados de incremento (largura dos anéis) em diâmetro para cada ano, sendo esses, obtidos pela média dos quatro raios de cada árvore, multiplicado por dois. Foi aplicado um fator de correção sobre os incrementos de diâmetro, representando a diferença de

diâmetros medidos a partir de anéis e os diâmetros medidos no campo (Brienen e Zuidema, 2006), devido ao possível encolhimento dos discos ou de medições em partes irregulares do disco (Groenendijk, et al. 2014).

Os incrementos e os padrões de crescimento em diâmetro das espécies foram descritos graficamente por meio do incremento corrente anual (ICA<sub>d</sub>) e o incremento acumulado ao longo do tempo. Para verificar possíveis mudanças no ritmo de crescimento das espécies pré e pós exploração florestal, foi calculado o incremento médio anual (IMAd) de 10 anos antes da exploração florestal (1978 a 1987) e 10 anos após a exploração florestal (1988 a 1997). Além disso, as árvores de cada espécie foram divididas em dois grupos: A) árvores com influência direta da primeira exploração, ou seja, árvores que estavam não mais que 25 metros de distância horizontal de um toco; e B) árvores sem a influência direta da primeira exploração, ou seja, árvores distantes mais do que 25 metros de um toco. Para cada grupo de árvores, foi realizado o teste de t pareado para verificar se existe diferença no crescimento pré e pós exploração.

### **Modelagem do crescimento para obtenção do DMC e CC**

A coleta de dados de crescimento e a interpretação para o desenvolvimento de modelos de crescimento são possíveis para algumas árvores da floresta amazônica e esses modelos preveem o crescimento da árvore ao longo do tempo com base nas relações entre os incrementos e os potenciais preditores (Cunha et al. 2016). Neste estudo, a modelagem do crescimento foi ajustada por regressão não linear das funções sigmoidais (1) Gompertz, (2) Chapman-Richards e (3) Weibel, em que a variável preditora (x) foi a idade da árvore. Foram considerados os critérios de coeficiente de determinação ajustado e a dispersão entre os valores reais e observados para a seleção do modelo de crescimento.

$$\text{Gompertz: } y = a(e^{-e^{b-cx}}) \quad (1)$$

$$\text{Chapman-Richards: } y = \frac{a}{(1+e^{b-cx})^{1/d}} \quad (2)$$

$$\text{Weibel: } y = a - be^{-cx^d} \quad (3)$$

Em que:

y = incremento em dap ou volume;

a,b,c,d = coeficientes dos modelos;

x = Idade (anos).

Os incrementos (largura dos anéis) foram acumulados gerando curvas de crescimento individuais em diâmetro. Essas curvas descreveram a relação entre a idade e o diâmetro da árvore de uma espécie (Worbes et al. 2003; Schöngart et al. 2007). Assim, o ajuste do modelo de crescimento em diâmetro foi realizado com os dados da curva média dos diâmetros [variável (y)] das árvores de determinada espécie e a idade [variável (x)] correspondente.

Antes do ajuste do modelo de crescimento em volume foram calculados os volumes cumulativos por espécie em cada idade. Para esse cálculo foi utilizada a equação (4) testada e ajustada ( $R^2 = 0,92$ ) para a região amazônica do noroeste do estado de Mato Grosso (Colpini, et al. 2009). Essa equação representa os volumes das árvores dessa região e utiliza como variável dependente apenas o diâmetro das árvores, diminuindo erros não amostrais decorrentes da medição da altura das árvores, ou ainda, erros com a utilização de um fator de forma médio para a estimativa do volume.

$$\ln(v) = -7,9906 + 2,2416\ln(dap) \quad (4)$$

Em que:

$\ln(v)$  = logarítmico neperiano do volume ( $m^3$ );

$\ln(dap)$  = logarítmico neperiano do dap (cm);

O modelo de crescimento em volume foi ajustado com os dados de volume [variável (y)] em cada idade [variável (x)]. A partir desse modelo de crescimento em volume acumulado foram calculados os incrementos correntes anuais ( $ICA_v$ ) e os incrementos médios anuais ( $IMA_v$ ) pelas equações (5) e (6).

$$ICA_v = VA_{(t+1)} - VA_{(t)} \quad (5)$$

$$IMA_v = \frac{VA_{(t)}}{(t)} \quad (6)$$

Em que:

$ICA_v$  = Incremento corrente anual em volume ( $m^3$ );

$IMA_v$  = Incremento médio anual em volume ( $m^3$ );

$VA$  = Volume acumulado em diferentes idades t durante toda vida ( $m^3$ );

t = idade num determinado ano.

Os valores de volumes obtidos entre ICA<sub>v</sub> máximo e IMA<sub>v</sub> máximo descrevem o período preferencial para a colheita da espécie (Schöngart, 2003). Antes ou depois desse período, significa um uso ineficiente do potencial de crescimento da espécie (Schöngart, 2008). Dessa forma, o diâmetro mínimo de corte (DMC) foi definido como o máximo de ICA<sub>v</sub> em volume e pode ser derivado da relação entre idade e diâmetro (Nebel, 2001; Schöngart et al. 2007; Schöngart, 2008). O ciclo de corte foi estimado pelo tempo médio que determinada espécie leva para passar por classes diamétricas de 10 cm, até atingir o DMC específico (Schöngart, 2008) e foi definido pela equação (7).

$$CC = \frac{Id_{(DMC)}}{(DMC \times 0,1)} \quad (7)$$

Em que:

CC = Ciclo de corte (anos);

Id = Idade (anos);

DMC = Diâmetro mínimo de corte (cm);

## RESULTADOS

### Estruturas e limites dos anéis de crescimento das árvores

As duas espécies estudadas apresentaram anéis de crescimento visíveis. A partir dessa condição, as estruturas e os limites dos anéis das árvores foram observados para saber se possuíam uma periodicidade anual no crescimento. Em *Q. paraensis* a estrutura observada para formação do anel de crescimento foi a diferença de densidade (Figura 3D). Além disso, em alguns locais ao longo do raio, observamos canais secretores dispostos nos limites dos anéis (Figura 3E). Em *P. pendula*, observamos faixa de parênquima marginal e zona fibrosa nos limites dos anéis das árvores (Figura 3A, 3B e 3C).

Embora *P. pendula* possua dois tipos de estruturas anatômicas que delimitam os anéis de crescimento, em certos pontos de algumas árvores, elas não foram muito evidentes. As faixas de parênquima marginal algumas vezes desapareceram em certas partes do raio. Nessas árvores a observação de toda a circunferência do disco foi fundamental para delimitar os anéis e demarcar anéis localmente ausentes. Voltar na amostra e umedecer a madeira também ajudou na identificação do limite do anel. Esses procedimentos diminuiram as dúvidas com relação aos

anéis ausentes. Já os falsos anéis raramente foram observados, sendo mais encontrados no início e no final da vida das árvores de maior diâmetro.

Em *Q. paraensis*, os anéis de crescimento estavam mais evidentes, principalmente quando observamos diretamente na amostra de madeira. As maiores dificuldades na delimitação dos anéis foram próximas à medula, onde o crescimento era menor e na região do albúrnio, onde a coloração mais esbranquiçada diminui o contraste do limite do anel pela diferença de densidade. Problemas com falsos anéis e anéis ausentes foram pouco detectados, sendo mais comuns em árvores com o tronco mais irregular e com a medula deslocada do centro.



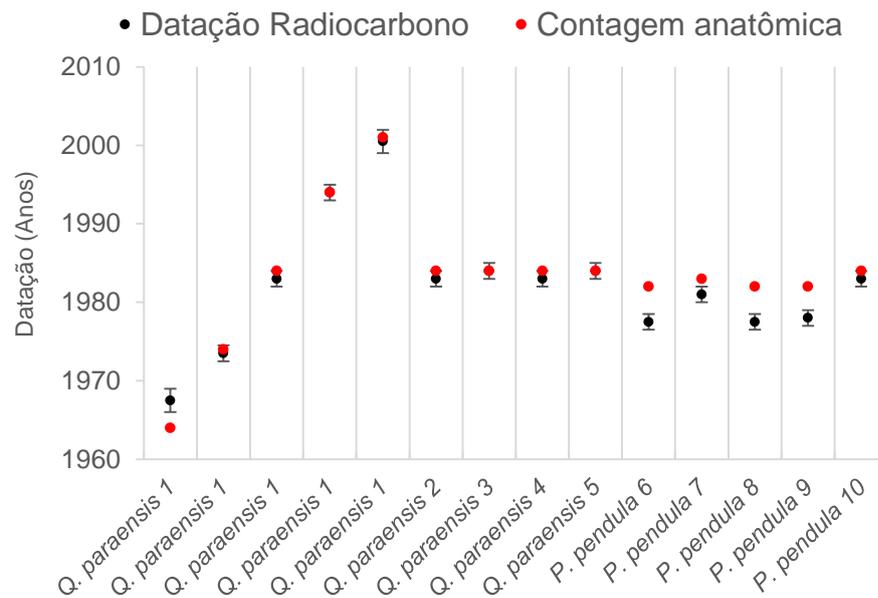
**Figura 3.** Estrutura dos anéis de crescimento de *P. pendula* (A, B e C) e *Q. paraensis* (D e E) em uma floresta tropical úmida de terra firme no sul da Amazônia. *P. pendula*: Seta branca indica anéis de crescimento de fácil visualização; Seta azul indica anéis de média visualização; Seta vermelha indica anéis de difícil visualização que necessita do disco (visualização de toda a circunferência). Barra preta representa uma escala de 0,5cm e o crescimento é da esquerda para direita.

### Datação por radiocarbono e datações cruzadas

A combinação das datações por radiocarbono, contagem anatômica dos anéis de crescimento (Tabela 1) e datações cruzadas comprovaram a periodicidade anual dos anéis dessas espécies em floresta tropical úmida de terra firme. A contagem desses anéis resultaram em idades entre 58 a 85 anos em *Q. paraensis* e de 75 a 117 anos em *P. pendula*.

Em uma das cinco árvores da espécie *Q. paraensis*, foi realizada a análise de radiocarbono em cinco zonas (anéis) de crescimento. Esse procedimento aumentou a confiabilidade dos resultados obtidos, pois o ano/calendário dessas análises coincidiu com as datas pré-determinada na contagem anatômica dos anéis (Figura 4). A única exceção foi a datação mais antiga referente ao ano de 1964 para a contagem anatômica, em que a datação por radiocarbono foi equivalente ao ano de 1967,5 com intervalo de confiança de 1,5 anos. Essa diferença ocorrida em 1964 (pico dos teste nucleares) pode estar relacionada com a curva de calibração do hemisfério sul que ainda precisa de mais pontos para ser melhor calibrada. Nas análises das outras quatro árvores dessa espécie, não foram observadas diferenças entre a contagem anatômica e as datações por radiocarbono (Figura 4). Assim, a combinação dessas análises não deixa dúvida quanto à anualidade dos anéis em *Q. paraensis*.

As datações de radiocarbono apresentaram resultados variáveis em *P. pendula*. Em uma árvore dessa espécie a contagem dos anéis de crescimento coincidiu com a datação por radiocarbono. No entanto, para as outras quatro árvores analisadas, a contagem anatômica foi sempre inferior a datação por radiocarbono, mostrando que foi deixado de contar em média 2 ou 3 anéis (localmente ausentes). Para um período de 28 anos (1984 à 2012) seria um erro menor que 10%. Em uma floresta tropical boliviana, onde foi comprovada a anualidade dos anéis, esses erros foram de 9,9% em *Clarisia racemosa* e 12,9% (anéis sempre ausentes) em *Peltogyne cf. heterophylla* (Soliz-Gamboa et al. 2011). Em floresta tropical úmida de Camarões na África Central, esse erro foi de até 12,3% (anéis sempre ausentes) em *Brachystegia cynometroides* (Groenendijk et al. 2014). Nos três estudos, a partir dos resultados de radiocarbono, foi possível retornar nas amostras de madeira e aferir a contagem dos anéis.



**Figura 4.** Datação por radiocarbono vs. contagem anatômica.

A datação cruzada de *P. pendula* foi realizada em um conjunto de dados com as cinco árvores (5 séries com 449 anéis analisados) que passaram pelas análises de radiocarbono e outro conjunto formado por 26 árvores (24 séries e 2126 anéis analisados) dessa espécie. As correlações das datações cruzadas entre as árvores foram 0,421 e 0,624, respectivamente. Seguindo essa mesma lógica, na espécie *Q. paraensis* a datação cruzada foi realizada em um banco de dados com cinco árvores (8 séries com 632 anéis analisados) e outro com 30 árvores (36 séries e 2876 anéis analisados). Dessa maneira, as correlações entre as árvores de *Q. paraensis* foram 0,383 e 0,532, respectivamente. Apesar das correlações terem sido significativas (R-crítico 0,328 a 99% nível de confiança), não foi possível estabelecer uma correlação entre os dados climáticos e o crescimento das árvores dessas espécies. No entanto, a combinação de procedimentos utilizados possibilitou a confirmação da periodicidade anual dos anéis dessas espécies permitindo a determinação da idade dessas árvores e o avanço dos estudos de crescimento com aplicações no manejo florestal do sul da Amazônia.

**Tabela 1.** Datação por radiocarbono e contagem dos anéis de crescimento das árvores

Espécie	Árv	DAP	N	pMC (%)	err (%)	Datação por <sup>14</sup> C (ano calendário)	Contagem anatômica	Idade (anos)
<i>Q. paraensis</i>	1	98,7	1	155,3	0,30	1967,5 (±1,5anos)	1964	85
<i>Q. paraensis</i>	1		2	141,9	0,22	1973,5 (±0,5anos)	1974	
<i>Q. paraensis</i>	1		3	123,3	0,20	1983 (±1,0anos)	1984	
<i>Q. paraensis</i>	1		4	113,1	0,20	1994 (±1,0anos)	1994	
<i>Q. paraensis</i>	1		5	109,4	0,21	2000,5 (±1,5anos)	2001	
<i>Q. paraensis</i>	2	77,1	6	123,1	0,27	1983 (±1,0anos)	1984	83
<i>Q. paraensis</i>	3	59,8	7	122,7	0,28	1984 (±1,0anos)	1984	74
<i>Q. paraensis</i>	4	66,5	8	123,2	0,26	1983 (±1,0anos)	1984	58
<i>Q. paraensis</i>	5	70,1	9	122,6	0,26	1984 (±1,0anos)	1984	78
<i>P. pendula</i>	6	63,1	10	133,0	0,29	1977,5 (±0,5anos)	1982	114
<i>P. pendula</i>	7	68,2	11	126,7	0,23	1981,0 (±1,0anos)	1983	101
<i>P. pendula</i>	8	57,3	12	131,4	0,27	1977,5 (±0,5anos)	1982	117
<i>P. pendula</i>	9	59,9	13	131,3	0,30	1978 (±1,0anos)	1982	75
<i>P. pendula</i>	10	64,7	14	123,2	0,28	1983 (±1,0anos)	1984	84

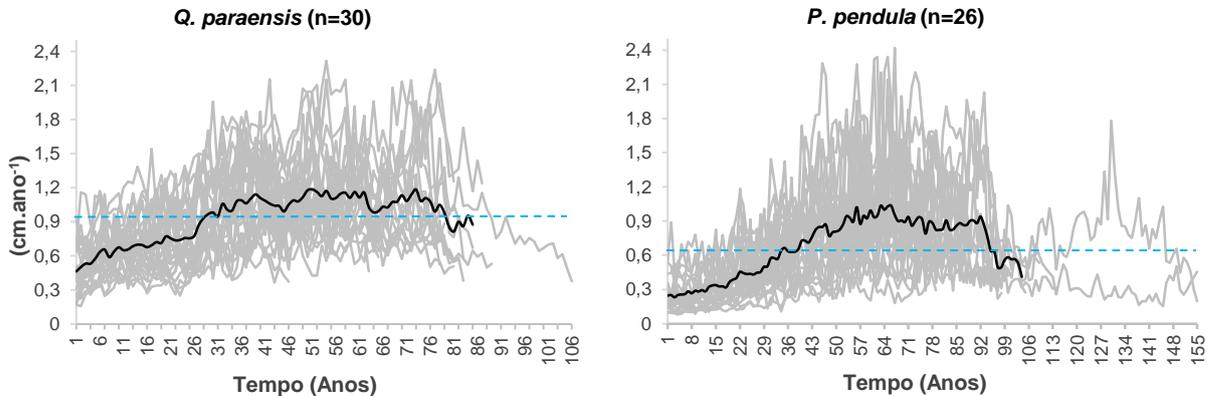
DAP = diâmetro a altura do peito (1,3m); pMC = porcentagem de carbono moderno.

### **Incrementos, diâmetro mínimo de corte (DMC) e ciclo de corte (CC)**

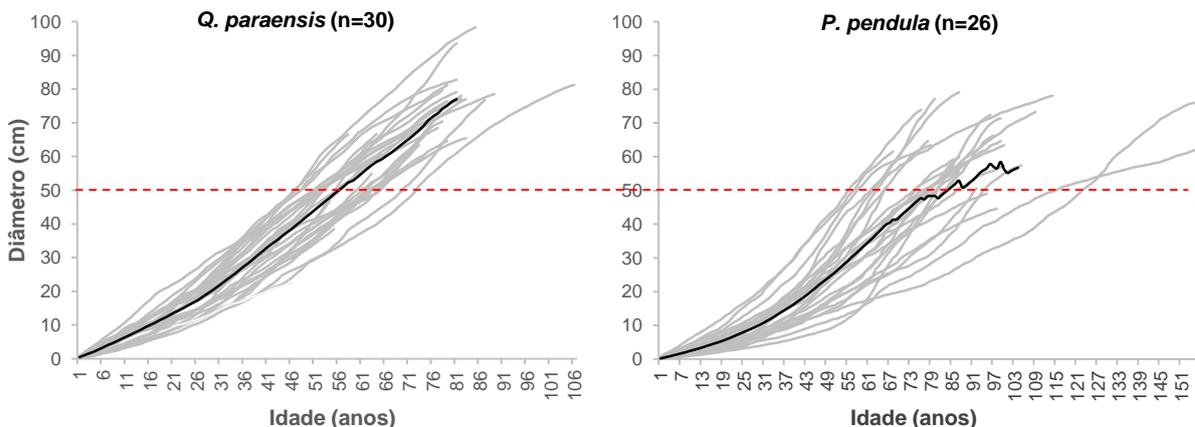
As duas espécies estudadas possuem incrementos correntes anuais (ICA<sub>d</sub>) e trajetórias de crescimento diferentes, sendo que, árvores da espécie *Q. paraensis* tiveram os maiores incrementos com menores variações entre as árvores (Figura 5 e 6). A espécie *P. pendula* apresentou menor incremento médio anual ( $0,63 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,22$ ) em relação a *Q. paraensis* ( $0,93 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,20$ ). Embora as duas espécies estudadas tenham um crescimento reduzido nos primeiros anos de vida, em *P. pendula* esse crescimento ficou abaixo da média até aproximadamente os 34 anos. Entre 34 e 94 anos o crescimento ficou acima dessa média, voltando a diminuir abaixo da média após esse período. Em *Q. paraensis* o período de crescimento abaixo da média foi até os 27 anos, acima da média até os 80 anos e novamente abaixo da média após esse período (Figura 5).

De maneira geral, as árvores da espécie *P. pendula* eram mais velhas do que *Q. paraensis* (Figura 5 e 6). Na trajetória do crescimento, as duas espécies possuíam indivíduos que ultrapassavam os 80 cm de diâmetro. Observa-se que para chegar ao diâmetro de corte de 50 cm determinado por lei para o manejo florestal no Brasil, *Q. paraensis* leva 56 anos (variando de 46 a 73 anos) e que *P. pendula* leva 84 anos (variando de 55 a 122 anos), ou seja, muito mais tempo para atingir esse mesmo diâmetro (Figura 6). Do ponto de vista econômico, esse período de tempo que determinada espécie arbórea leva para atingir 50 cm pode não ser adequado para inúmeras espécies. Os resultados observados neste estudo reforçam que há necessidade de levar

em consideração o ritmo de crescimento das espécies individualmente para estimar o DMC e um CC policíclico adequado.



**Figura 5.** Variações de incremento ( $ICA_d$ ) do diâmetro vs. idade cambial de duas espécies arbóreas de uma floresta tropical úmida de terra firme no sul da Amazônia. Cada linha cinza representa a variação de incremento em diâmetro de uma árvore individual; Linha preta mostra a variação do incremento médio de cada espécie quando  $n > 5$  amostras estavam disponíveis; Linha tracejada azul representa o incremento médio anual de cada espécie.



**Figura 6.** Trajetórias de crescimento em diâmetro de duas espécies arbóreas em uma floresta tropical úmida de terra firme no sul da Amazônia. Cada linha cinza representa a trajetória de crescimento individual da vida de uma árvore; Linhas pretas mostram o padrão de crescimento médio de cada espécie quando  $n > 5$  amostras estavam disponíveis; Linha tracejada vermelha indica o diâmetro mínimo de corte estabelecido por lei (IN 05 de 02/07/2014) para o manejo florestal no Brasil.

Uma das hipóteses deste estudo foi que as atividades de corte de árvores decorrentes da primeira exploração ocorrida no ano de 1987 pudesse induzir aumento no ritmo de crescimento das espécies avaliadas. Na Tabela 2, são apresentados os resultados do incremento médio anual de cada espécie em anos pré e pós exploração florestal. Na sequência, são apresentados os resultados dos incrementos individuais subdivididos em grupos (A e B) de árvores com

(dist.<25m) e sem (dist.>25m) a influência direta das árvores que foram derrubadas na primeira exploração (Figura 7 e 8).

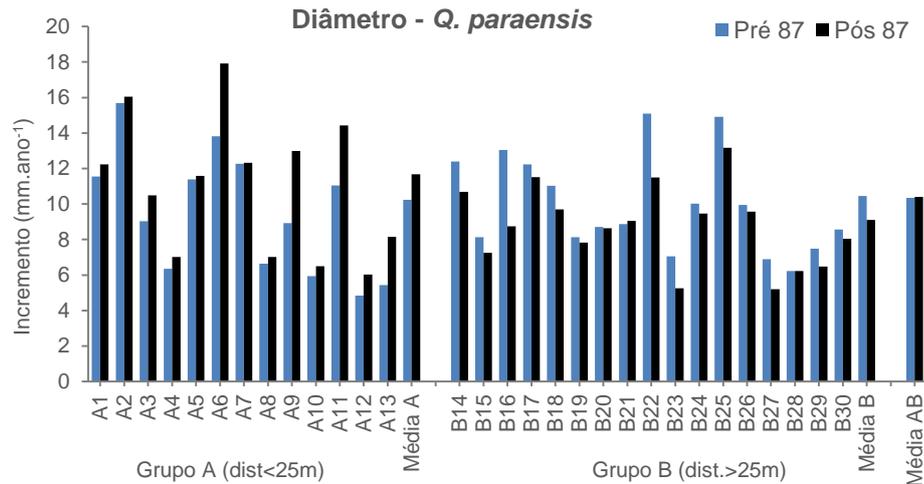
Em *Q. paraensis*, o incremento médio anual (IMA<sub>d</sub>) pré e pós exploração florestal foi semelhante com 1,029 e 0,998 cm.ano<sup>-1</sup> respectivamente (Média AB). No entanto, são mostrados sem exceção, que todas as árvores com influência direta da exploração (Grupo A) tiveram um aumento (p=0,003) no IMA<sub>d</sub> pós exploração florestal. Esse aumento foi em média, de 14,1% e chegou a atingir 45,6% no caso da árvore A9. No Grupo B no qual estavam as árvores sem a influência direta da exploração florestal houve uma diminuição (p=0,001) do incremento em aproximadamente 13%.

Para *P. pendula* o IMA<sub>d</sub> médio foi de 0,773 e 0,818 cm.ano<sup>-1</sup> (Média AB) para os períodos de pré e pós exploração respectivamente. Não houve evidências estatísticas (p=0,59 e p=0,88) nos resultados dos grupos (A e B) de árvores dessa espécie. Conforme observado na Figura 8, o que aconteceu foi que ora árvores com a influência direta da exploração tiveram aumento de incremento, ora árvores do outro grupo foi que tiveram aumento no incremento para o período pós exploração. Dessa forma, a avaliação do incremento por grupo de árvores foi determinante para mostrar que, ao contrário de *Q. paraensis*, não houve fortes evidências que *P. pendula* é levada a um aumento no IMA<sub>d</sub> após a exploração florestal. Em outras palavras, a espécie não respondeu as variações ambientais pós-exploração florestal.

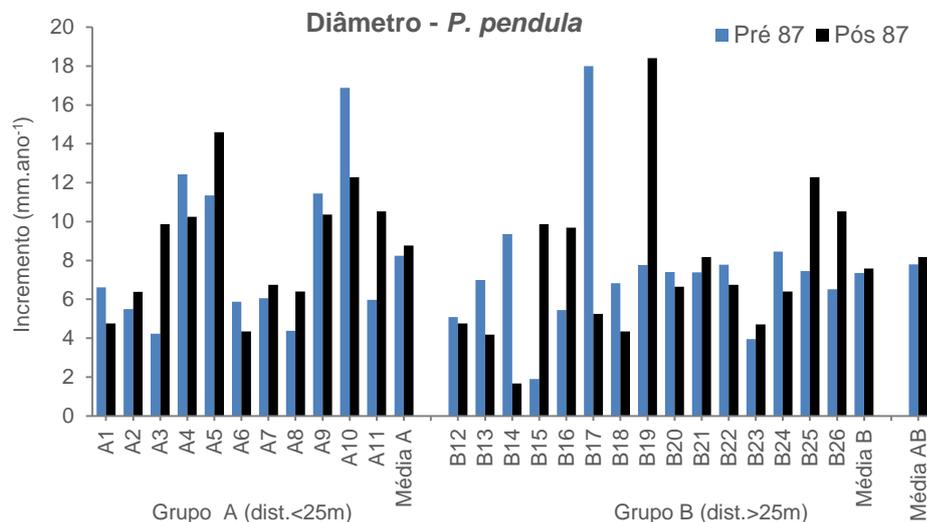
**Tabela 2.** Incremento médio dos períodos pré e pós-exploração florestal, diâmetro mínimo de corte (DMC) e ciclo de corte (CC) para *Q. paraensis* e *P. pendula*.

		<i>Q. paraensis</i>	<i>P. pendula</i>
Média do grupo A de árvores	IMA <sub>d</sub> Pré (cm.ano <sup>-1</sup> )	0,945 ± 0,34	0,824 ± 0,33
	IMA <sub>d</sub> Pós (cm.ano <sup>-1</sup> )	1,098 ± 0,33	0,877 ± 0,40
Média do grupo B de árvores	IMA <sub>d</sub> Pré (cm.ano <sup>-1</sup> )	0,992 ± 0,27	0,735 ± 0,35
	IMA <sub>d</sub> Pós (cm.ano <sup>-1</sup> )	0,872 ± 0,22	0,757 ± 0,42
Média AB	IMA <sub>d</sub> Pré (cm.ano <sup>-1</sup> )	1,029 ± 0,34	0,773 ± 0,24
	IMA <sub>d</sub> Pós (cm.ano <sup>-1</sup> )	0,998 ± 0,35	0,818 ± 0,47
Média Geral	IM (cm.ano <sup>-1</sup> )	0,930 ± 0,20	0,630 ± 0,22
	DMC (cm)	52,93 ± 8,55	41,87 ± 13,02
	Idade no DMC (anos)	58 ± 7,15	71 ± 14,77
	Volume no DMC (m <sup>3</sup> )	2,574 ± 0,429	1,457 ± 0,306
	CC (Anos)	11	17

IM = Incremento médio; IMA<sub>d</sub>= Incremento médio anual (período de 10 anos); DMC=Diâmetro mínimo de corte; CC=Ciclo de corte.



**Figura 7.** Incremento médio anual (IMA<sub>d</sub>) pré 1987 (1978-1987) e pós 1987 (1988-1997) a exploração florestal.



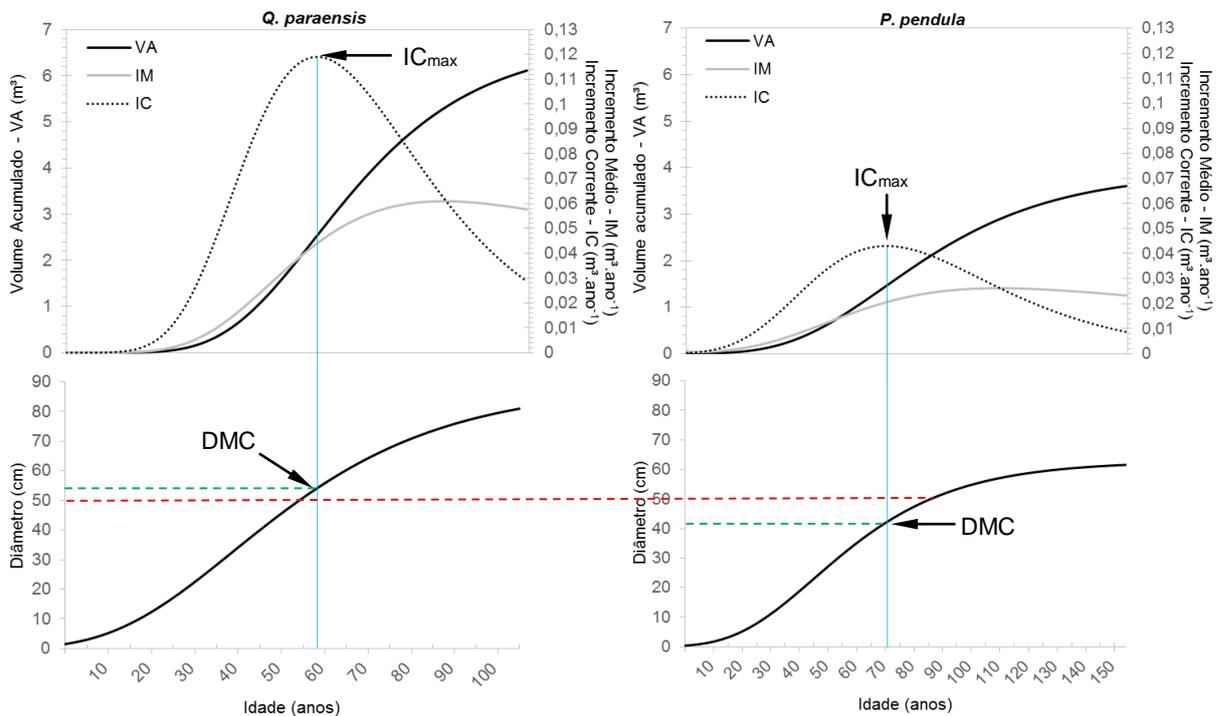
**Figura 8.** Incremento médio anual (IMA<sub>d</sub>) pré 1987 (1978-1987) e pós 1987 (1988-1997) a exploração florestal.

Para determinar tecnicamente o DMC e o CC para *Q. paraensis* e *P. pendula*, foram ajustadas as equações de crescimento em diâmetro e em volume para essas espécies (Tabela 3). Em todas as equações ajustadas foram observados elevados coeficientes de determinação ( $R^2 > 92\%$ ). A partir desses ajustes foi estimado um DMC de aproximadamente 53 cm e um CC de 11 anos para *Q. paraensis* e em *P. pendula* o DMC foi de 42 cm e o CC foi de 17 anos (Tabela 2). Ressalta-se que o CC foi estimado pelo tempo médio que determinada espécie levou para passar por classes diamétricas de 10 cm até o DMC específico (equação 7) e não o tempo total de vida (ver: Schöngart, 2008). Dessa forma, o CC aplicado atualmente nos planos de manejo florestal do estado pode estar subestimando o potencial de crescimento dessas espécies e o DMC também precisa ser reavaliado (Veja Figura 9).

**Tabela 3.** Estatísticas e equações ajustadas para o diâmetro (d) e o volume(v) em função da Idade (Id) de *Q. paraensis* e *P. pendula*.

Espécie	Equações	R <sup>2</sup> (p<0,001)	Syx
<i>Q. paraensis</i>	$d = 88,633(e^{-1,43487-0,03616Id})$	0,986	2,148
	$v = 6,7222(e^{-2,75399-0,04819Id})$	0,982	0,286
<i>P. pendula</i>	$d = 62,697(e^{-1,68056-0,036443Id})$	0,975	3,328
	$v = 3,9019(e^{-2,11642-0,030019Id})$	0,929	0,370

Syx = Erro padrão da estimativa; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação; p = Nível de significância



**Figura 9.** Representação gráfica dos resultados das curvas de crescimento geradas a partir das equações ajustadas de diâmetro e volume das espécies *Q. paraensis* e *P. pendula*; A linha tracejada vermelha indica o DMC estabelecido por lei (IN 05 de 02/07/2014) para o manejo florestal no Brasil; Linhas tracejadas verdes indicam o DMC determinado pelo crescimento da espécie.

## DISCUSSÃO

### Estruturas e limites dos anéis de crescimento das árvores

Nas árvores estudadas da espécie *Q. paraensis* foram observados anéis de crescimento por variação de densidade e em alguns casos houve a presença de canais secretores no limite dos anéis. Esses canais foram observados para *Q. paraensis* no estado do Amazonas, no entanto, não foram observados anéis para essa espécie (Loureiro e Silva, 1977). No estado do Pará, não

foram observados canais secretores e tampouco, anéis para essa espécie (Reis et al. 2014). É muito provável que a sazonalidade da estação seca, muito marcante e rigorosa no estado de Mato Grosso (ver: Souza et al. 2013), seja a responsável pelo desenvolvimento de anéis. As observações e investigações conduzidas por Worbes (1995) indicam que é necessário uma estação seca anual com um comprimento de 2 a 4 meses e menos que 60 mm de precipitação mensal para induzir anéis anuais em árvores. Assim, pode-se afirmar que essa espécie possui um comportamento diferente na formação dos anéis em função da sazonalidade e condições ambientais diferentes. Esse resultado em particular revela que na região de estudo essa espécie possui ótimo potencial para análises com anéis.

De maneira geral, os anéis de crescimento em *Q. paraensis* foram bem definidos pela diferença de densidade ao longo de todo raio. Na região do cerne, ou seja, na parte mais interna da madeira, os anéis foram mais facilmente delimitados do que na região do albúrnio. No entanto, na parte mais próxima da medula, em algumas ocasiões, houve variações na densidade mais sensíveis de se observar, o que gerou certa dúvida na delimitação de alguns anéis. Esse fato ocorre em inúmeras espécies porque o valor do comprimento celular nos anéis próximos à medula é pequeno, porém aumenta rapidamente e estabiliza após atingir um determinado valor (Silva, 1992). Dessa forma, os anéis próximos à medula possuem características muito diferentes daqueles localizados mais externamente na madeira (Zobel & Talbert, 1984), dificultando a sua visualização e delimitação em *Q. paraensis*, inclusive em *P. pendula*.

A estrutura anatômica da madeira de *Parkia* sp foi caracterizada por anéis de crescimento delimitados por faixa de parênquima e zona fibrosa (Lisi et al. 2001), sendo as mesmas estruturas anatômicas observadas em *Parkia pendula*. Essa delimitação dos anéis de *P. pendula* foi mais fácil de ser identificada em árvores com maior incremento e em anéis com largura acima de  $0,4 \text{ cm.ano}^{-1}$ . Porém, em alguns momentos nos quais a largura do anel apresentava-se menor (menor incremento), houve dificuldade de observar a faixa de parênquima marginal, o que causou suspeita de falso anel. No entanto, as análises de radiocarbono evidenciaram que eram anéis verdadeiros, portanto, foi crucial a observação detalhada em toda a circunferência da amostra de madeira (disco) dessa espécie. Outros estudos (Soliz-Gamboa et al. 2011; Groenendijk, et al. 2014; Santos et al. 2015) também tiveram sucesso empregando essas análises conjuntas nos anéis. Dessa forma, para essa espécie, os anéis devem ser estudados com amostras do disco da árvore, mas análises de radiocarbono foram importantes na delimitação dos anéis.

## **Radiocarbono e os anéis de crescimento em árvores de florestas tropicais úmidas de terra firme**

Em árvores localizadas em clima temperado com estações de crescimento e dormência bem definidas, técnicas dendrocronológicas como a análise anatômica dos anéis de crescimento e a datação cruzada garantem o sucesso absoluto na atribuição de um ano civil. No entanto, como já foi discutido, em ambientes tropicais com uma sazonalidade menos acentuada, não há garantia de que a periodicidade dos anéis das árvores seja anual (Ohashi et al. 2015). Neste estudo, foi evidenciado anéis localmente ausentes por meio das análises de radiocarbono em *P. pendula*. Em *Pseudolmedia rigida* na Bolívia, também foram detectados anéis localmente ausentes (Andreu-Hayles et al. 2015). Nos dois casos, as análises de radiocarbono sugerem que os anéis são formados anualmente e possibilitaram a correção dessas falhas. Portanto, a aplicação dessas análises de  $^{14}\text{C}$  concomitantemente com técnicas dendrocronológicas são recomendadas e aplicadas para a correta datação de anéis de árvores principalmente em florestas tropicais, onde diversos autores (ver: Groenendijk et al. 2014; Ohashi et al. 2015; Durgante, 2016) já relataram a dificuldade ou incertezas nas determinações baseadas apenas em análises dendrocronológicas.

Atualmente, observando os anéis de crescimento de árvores na madeira, há a comprovação da anualidade desses anéis para 230 espécies tropicais (Brienen et al. 2016). No entanto, são escassos os estudos utilizando técnicas combinadas de observação dos anéis e datações por radiocarbono. Na Venezuela, em uma floresta tropical seca com precipitações abaixo de 1.333mm, as combinações desses métodos comprovaram a anualidade dos anéis em *Campsiandra laurifolia* e *Pouteria Orinocoensis* (Dezzeo et al. 2003). Em uma floresta tropical na Bolívia foi comprovada a periodicidade anual para as espécies *Clarisia racemosa*, *Peltogyne* cf. *heterophylla* e *Cedrelinga catenaeformis* (Soliz-Gamboa et al. 2011). Embora não se tenha revelado as incertezas, em uma floresta tropical úmida na Costa Rica, foram comprovados a anualidade dos anéis de 5 (*Elegans Balizia*, *Dipteryx panamensis*, *H. mesoamericanum*, *Guatteria aeruginosa* e *Protium pittieri*,) entre 6 espécies analisadas combinando estudos anatômicos da madeira e radiocarbono (Fichtler et al. 2003). Para as florestas tropicais úmidas de terra firme no sul da Amazônia, este é o primeiro trabalho que comprova a anualidade dos anéis das árvores utilizando análises de radiocarbono.

O método de datação por radiocarbono vem sendo utilizado com extrema solidez em estudos de ambientes florestais (Mozeto et al. 1998; Worbes, 1989; Chambers et al. 1998; Vogel et al. 2001; Vieira, et al. 2005; Wils et al. 2011; Nakamura et al. 2013; Orosco et al. 2013;

Groenendijk et al. 2014; Santos et al. 2015; Andreu-Hayles et al. 2015). Em alguns desses trabalhos como, por exemplo, em Vieira et al. (2005), só foi possível quantificar a estrutura etária e o crescimento de árvores na Amazônia utilizando esse método. Santos et al. (2015) utilizaram anéis de crescimento anuais de *Araucaria angustifolia* para refinar a calibração da curva  $^{14}\text{C}$  para o Hemisfério Sul. Em outros trabalhos como de Groenendijk et al. (2014) e Andreu-Hayles et al. (2015), a utilização do radiocarbono e a observação anatômica dos anéis possibilitaram conhecer as taxas anuais de crescimento para espécies tropicais da África Central e a anualidade dos anéis em *Pseudolmedia rigida* na Bolívia, respectivamente. No presente estudo, a comprovação da anualidade dos anéis das árvores por esses dois métodos possibilitaram estudar o crescimento e a idade das árvores de forma mais detalhada no sul da Amazônia.

Em *P. pendula* foram encontradas idades de 15 a 53 anos para um diâmetro de 10 cm e de 9 à 28 anos para *Q. paraensis*. Em *Cedrela odorata*, para esse mesmo diâmetro, foram encontradas variações de 9 a 75 anos em uma floresta tropical de terra firme (Brienen et al. 2010a). A alta diversidade das estratégias de vida entre as árvores tropicais pode explicar, em parte, a variação da idade para um mesmo diâmetro nos resultados encontrados. A idade das árvores na floresta tropical pode variar de algumas décadas para espécies pioneiras (Schöngart, 2008), até idades superiores a 900 anos (Chambers et al. 1998; Vieira et al. 2005) em florestas maduras. No entanto, observando anéis de crescimento das árvores, a média da idade máxima em todas as espécies tropicais estudadas é de 208 anos (Brienen et al. 2016). Neste estudo, foram encontradas idades máximas em árvores vivas de *Q. paraensis* e *P. pendula* de 106 e 155 anos respectivamente e diâmetro superiores a 80 cm. Essas características indicam que essas espécies possuem bom crescimento e alto potencial para serem manejadas. Assim sendo, a aplicação do radiocarbono na avaliação da anualidade dos anéis de crescimento das árvores pode gerar informações importantes sobre a idade e as variações de crescimento, as quais, ao serem aplicadas no manejo florestal, podem contribuir na tomada de decisões com relação ao diâmetro mínimo e o ciclo de corte das espécies no sul da Amazônia.

### **Incrementos e aplicações para o manejo florestal no sul da Amazônia**

Embora seja desejável, não se encontrou correlação entre os dados de crescimento das espécies avaliadas com as variáveis de clima (precipitação e temperatura). Portanto, as datações por radiocarbono foram fundamentais na comprovação da anualidade dos anéis nas duas espécies. Acredita-se que as relações crescimento-clima foram dificultadas, entre outros, pela

variação na seleção das árvores incluídas no estudo, ou seja, pelos procedimentos para remover as tendências ontogenéticas dos dados de crescimento e, também, devido a sensibilidade das espécies às flutuações da precipitação (Brienen et al. 2016). Em alguns casos, essa relação é significativa como, por exemplo, em locais secos no norte da Colômbia, Peru e no sul do México, onde mais que 60% da variação na largura do anel foram explicadas pela variação ano-a-ano nos totais de precipitação (Rodríguez et al. 2005; Brienen et al. 2010b; Ramírez e del Valle 2011). Contudo, se os estudos a respeito do efeito da precipitação sobre o crescimento é fraco, os estudos levando em consideração a temperatura são menores ainda (Brienen et al. 2016). Embora não se tenha constatado correlação do crescimento com a temperatura e a precipitação, acredita-se que é possível que hajam outras espécies com correlações significativas já que a área de estudo possui sazonalidade marcante. Nesse caso, é necessário aumentar o número de espécies avaliadas, o que contribuiria para entender melhor a variação no crescimento e traria implicações importantes para o manejo florestal da região sul da Amazônia.

O incremento médio anual em *Q. paraensis* ( $0,93 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,20$ ) e em *P. pendula* ( $0,63 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,22$ ) foram altos em relação ao incremento das espécies tropicais, especialmente na Amazônia. Entre eco regiões amazônicas e utilizando anéis de crescimento de árvores, Rosa et al. (2017) mostraram que a média do incremento em diâmetro para *Calophyllum brasiliense* (6 regiões) foi  $0,43 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,16$ . Em *Bertholletia excelsa* (3 regiões) o incremento foi de  $0,71 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,019$  (Schöngart et al. 2015). No sul da Amazônia, em uma área de reserva indígena, as árvores de *Swietenia macrophylla* tiveram um incremento médio de  $0,33 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,031$  (Dünisch e Latorraca, 2016). Em floresta tropical úmida em Camarões na África Central, para cinco espécies comerciais em que foram avaliadas o crescimento a partir de anéis em discos do tronco das árvores, houve uma variação no incremento médio entre  $0,43 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,35$  até  $0,96 \text{ cm.ano}^{-1} \pm 0,71$  nas espécies *Daniellia ogea* e *Terminalia ivorensis* respectivamente (Groenendijk et al. 2014). Utilizando radiocarbono em árvores da Amazônia, o incremento médio das espécies foi de 0,11 a 0,64  $\text{cm.ano}^{-1}$  (Chambers et al. 1998; Vieira, 2003). Todos esses trabalhos reforçam a variabilidade existente inter e intra-espécie. No entanto, aponta-se que podem ocorrer variações nos incrementos decorrente de atividades antropogênicas como por exemplo o manejo florestal.

É importante entender se o crescimento das espécies florestais é afetado pelas atividades do manejo florestal, pois pode influenciar as práticas de manejo adotadas atualmente. Devido a uma primeira exploração florestal na área de estudo em 1987, entende-se que houve uma maior disponibilidade de recursos (água, luz e nutrientes) para as árvores remanescentes,

principalmente àquelas que estavam mais próximas das árvores abatidas. Assim, foram realizadas análises de crescimento no grupo (A) de árvores com a influência direta ( $\text{dist} < 25\text{m}$ ) dessa primeira exploração e no grupo (B) sem essa influência ( $\text{dist} > 25\text{m}$ ). Dessa maneira, ficou evidente que *Q. paraensis* tem uma resposta positiva no aumento ( $p=0,003$ ) do crescimento em diâmetro para o grupo de árvores com a influência direta da exploração florestal e, uma diminuição ( $p=0,001$ ) no crescimento para o grupo de árvores sem essa influência. Entretanto, essa exploração floresta não promoveu aumento ( $p > 0,59$ ) no ritmo de crescimento em diâmetro em *P. pendula*. Entende-se que quando uma árvore cresce muito ou cresce pouco independente das condições ambientais, pode-se dizer que ela é inelástica, mas se a árvore tem resposta diferente em diferentes condições ambientais e de competição, isto significa que ela é elástica (Higuchi e Higuchi, 2012). Dessa forma, acredita-se que *P. pendula* tenha um crescimento inelástico em diâmetro, ou ainda, a intensidade da primeira exploração (cerca de 4arv/ha neste estudo) não tenha sido suficiente para promover o aumento no ritmo de crescimento em diâmetro. Contudo, isso revela que essa espécie poderia não responder a tratamentos silviculturais, como por exemplo, a remoção de árvores.

A influência da abertura do dossel da floresta, seja pelo manejo florestal, ou por tratamentos silviculturais já foi estudado inúmeras vezes na Amazônia brasileira (Silva et al. 1995; Silva et al. 2001; Vidal et al. 2002; Costa et al. 2008; Souza et al. 2014; Silva et al. 2016) e revela o quanto o crescimento é variável dentro e entre as espécies devido a esses fatores. Embora algumas espécies arbóreas não dependam da radiação solar direta, elas podem se beneficiar da abertura do dossel da floresta causada de forma natural ou pela exploração madeireira (Jardim e Soares, 2010), como é o caso do presente estudo em que houve um aumento (14,1% em *Q. paraensis* e 6,3% em *P. pendula*) no incremento quando as árvores estavam sobre a influência direta da exploração florestal ( $\text{dist} < 25\text{m}$ ). Na região amazônica do estado do Pará, *Manilkara huberi* e *Manilkara paraensis*, sob condições de manejo e tratamentos silviculturais em uma área experimental de floresta tropical, também apresentaram aumento de diâmetro em árvores com as copas expostas em um período de avaliação de quatro anos (Souza et. al, 2014). No entanto, nessa mesma área experimental, as árvores da espécie *Laetia procera* não tiveram aumento de incremento em diâmetro quando submetida a manejo florestal e tratamentos silviculturais (Vatrax et al. 2012); além disso, segundo Silva et al. (2016), mesmo para espécies elásticas, a observação dos efeitos no crescimento após longos períodos depende fundamentalmente de novas intervenções. Dessa forma, observa-se que nem todas as espécies florestais aumentam seu crescimento em diâmetro em função do manejo florestal, porém as informações sobre a resposta do crescimento para aquelas espécies mais sensíveis

teriam implicações diretas na silvicultura e também na determinação do diâmetro mínimo de corte (DMC) para um próximo ciclo de corte (CC).

Atualmente nos planos de manejo florestal no Brasil é estabelecido por lei o DMC em 50cm e o CC entre 25 e 35 anos para todas as espécies. Na área estudada, é sugerido que *Q. paraensis* e *P. pendula* deveriam passar para um DMC de 53 e 42cm e CC de 11 e 17 anos respectivamente. Ressaltamos que apenas a espécie *Q. paraensis* foi responsável por aproximadamente 35% das árvores exploradas no segundo ciclo de corte dessa floresta. Apesar de ser permitido com base em estudos técnicos e ecológicos o estabelecimento de DMCs e CCs específicos para cada espécie, apenas o estado do Amazonas possui lei específica. Nesse estado foi implementado a IN 009 (novembro de 2010) pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, que define por espécie o DMC e o CC em florestas da planície de inundação de águas claras daquele estado. Nesse estudo, Schöngart (2008) desenvolveu um conceito denominado GOL, o qual é aplicado em várias espécies comerciais de florestas inundáveis da Amazônia (ver: Leoni et al. 2011; Scabin et al. 2012.) para as quais foram estimados os DMCs entre 47 à 70 cm e os CCs 3 a 32 anos. Esse mesmo conceito ainda foi aplicado com sucesso em outras florestas tropicais na Bolívia (ver: López et al. 2013) na África (ver: De Ridder et al. 2013) e no Brasil (ver: Rosa et al. 2017) com os mais variados resultados para os DMCs e para os CCs das espécies, evidenciando que os mesmos devem ser determinados em função das taxas de crescimento das espécies individualmente, ou em grupo para espécies que apresentem crescimento semelhantes.

Com exceção do manejo em áreas úmidas no Amazonas, as variações do crescimento em diâmetro das espécies florestais ainda não são levadas em consideração nos planos de manejo florestal no Brasil. É importante mencionar que a implementação de um DMC e o CC específico garante um uso mais racional dos recursos madeireiros, no entanto, é necessário que haja um número suficiente de árvores remanescentes na floresta para que a exploração florestal seja economicamente viável. Dessa forma, os resultados deste estudo aliada às informações como a regeneração, mortalidade e biologia reprodutiva das árvores são importantes para garantir a sustentabilidade dos planos de manejo florestal em florestas exploradas.

## CONCLUSÕES

Conclui-se com este estudo que há dificuldades e incertezas nas datações dos anéis de crescimento baseadas apenas em análises dendrocronológicas em espécies de florestas tropicais de terra firme, podendo ocasionar erros na identificação e delimitação desses anéis.

O ritmo do crescimento das árvores de florestas no segundo ciclo de corte no estado de Mato Grosso pode ser alterado em função da intensidade do manejo florestal aplicado nessas florestas.

Os elevados incrementos das espécies *Q. paraensis* e *P. pendula* em Mato Grosso repercutem em menores ciclos de corte em relação ao estabelecido pelas leis brasileiras e devem ser levados em consideração para o manejo de florestas em segundo ciclo de corte.

## CAPÍTULO 2

---

Miranda, D. L. C. de.; Higuchi, N.; Trumbore, S. E.; Latorraca, J. V. F.; Carmo, J. F.; Lima, A. J. N. Variações na densidade e no tamanho das fibras e vasos da madeira de *Qualea paraensis* e *Parkia pendula* em floresta explorada no sul da Amazônia. Manuscrito formatado para *Acta Amazônica*.

## Variações na densidade e no tamanho das fibras e vasos da madeira de *Qualea paraensis* e *Parkia pendula* em floresta explorada no sul da Amazônia

### RESUMO

Variações nos elementos anatómicos das árvores estão estreitamente associadas à qualidade da madeira e a sua aplicação final. Entretanto, essas variações são pouco estudadas nas espécies de árvores tropicais, sobretudo em florestas onde a madeira é extraída para fins comerciais. Assim, este estudo analisou as variações da densidade e nas dimensões celulares de fibras e vasos na direção medula-câmbio e a influência do manejo florestal nas variações da madeira de *Q. paraensis* e *P. pendula*. Com esse propósito, foram coletados aleatoriamente de forma destrutiva 5 discos de cada espécie em uma floresta manejada em segundo ciclo de corte com 1.413ha no sul da Amazônia. Os discos foram preparados para a marcação anual dos anéis de crescimento e remoção de 10 amostras pré-definidas ao longo do raio para mensuração das fibras e vasos. A densidade foi obtida por densitometria de raios-x. Foram realizadas análises gráficas e comparativas entre as amostras nas diferentes posições radiais. A densitometria de raios-x detectou variações na densidade decorrente do manejo florestal em *Q. paraensis* e no lenho juvenil até 8 cm de raio em *P. pendula*. Houve aumento nas dimensões do diâmetro de vaso e diminuição na frequência dos vasos em *Q. paraensis*. Além do diâmetro de vaso, em *P. pendula* houve aumento do comprimento e da espessura da parede das fibras e diminuição da espessura total das fibras. Verificou-se que o manejo florestal aumentou a área ocupada por vasos nessas espécies, podendo alterar a qualidade da madeira explorada de florestas em segundo ciclo de corte.

**Palavras-chave:** Anatomia da madeira, manejo florestal, ciclo de corte, qualidade da madeira, densitometria de raios-x.

### ABSTRACT

Anatomical elements variations of the trees are closely associated with the quality of the wood and its final application. However, these variations are little studied in tropical tree species, especially in forests where the wood is extracted for commercial purposes. Thus, this study analyzes the variations in density and in the cellular dimensions of fibers and vessels in the medulla-cambium direction and the influence of forest management on the variations of *Q. paraensis* and *P. pendula* wood. For this purpose, 5 disks of each species were randomly collected in a 1,413ha forest managed on its second cycle of cutting in southern Amazonia. The disks were prepared for the annual marking of the growth rings and removal of 10 predefined samples along the radius for fiber and vessel measurement. The density was obtained by x-ray densitometry. Graphical and comparative analyzes were performed between samples in different radial positions. x-ray densitometry detected variations in density due to forest management in *Q. paraensis* and in juvenile wood it was up to 8 cm of radius in *P. pendula*. There was an increase in vessel diameter and a decrease in vessel frequency in *Q. paraensis*. In addition to the vessel diameter, in *P. pendula* there was a length and thickness increase of the fibers' wall and a decrease in the total thickness of the fibers. It was verified that the forest management increased the area occupied by vessels in these species, being able to alter the wood quality exploited from forests in its second cycle of cutting.

**Keywords:** Wood anatomy, forest management, cutting cycle, wood quality, x-ray densitometry.

## INTRODUÇÃO

A maior parte das florestas tropicais manejadas comercialmente na Amazônia brasileira (~75%) estão nos estados do Pará e Mato Grosso (Hummel *et al.* 2010). No sul da Amazônia, onde está localizado o estado de Mato Grosso, muitas dessas florestas estão entrando em um segundo ciclo de corte. A União da Indústria Madeireira do Norte de Mato Grosso - SINDUSMAD planeja criar um cluster de exportação de madeira nessa região visando o aumento das exportações (ITTO 2017). Entretanto, a expansão do setor florestal brasileiro depende de um melhor entendimento não somente da quantidade, mas também da qualidade da produção de madeira (Lima *et al.* 2015) o que atualmente também está associada à madeira advinda de planos de manejo de florestas em segundo ciclo de corte. Apesar do número reduzido de espécies consumidas pelo mercado nacional e internacional (Amaral 2013) em relação a um total com mais de 16.000 espécies arbóreas (Ter Steege *et al.* 2016), ainda faltam informações a respeito da qualidade do lenho dessas espécies florestais amazônicas.

A qualidade da madeira está estreitamente associada às variações nos elementos anatômicos do lenho das árvores. Essas variações também possibilitam, por exemplo, o melhor entendimento da arquitetura adotada pelas espécies em tornar mais eficiente o transporte de água na planta (Fan *et al.* 2009), ou ainda, ao provocar mudanças na densidade da madeira, podendo afetar a biomecânica da planta (Hietz *et al.* 2013). As principais variações anatômicas no lenho das árvores ocorrem na densidade e no tamanho das fibras e dos elementos de vasos, sendo essas, parâmetros importantes que caracterizam a qualidade da madeira tornando possível estabelecer a matéria prima mais adequada para uma determinada aplicação (Longui *et al.* 2014a).

A densidade é considerada uma das propriedades mais importantes para avaliar a qualidade da madeira (Sette Jr. *et al.* 2012; Surdi *et al.* 2014), entretanto, pode sofrer variações ao longo do raio do caule (Plourde *et al.* 2015). A forma mais observada na literatura descreve um aumento da densidade da madeira com a idade das árvores (Sette Jr. *et al.* 2012; Richter, 2015) sendo o resultado das modificações das células cambiais formando o lenho maduro (Tomazello Filho 1987). Não se sabe com precisão quando para de produzir a madeira juvenil e quando começa a madeira madura (Lima *et al.* 2015), mas sabe-se que esse período conhecido como juvenilidade varia conforme a espécie e o ambiente (Lima *et al.* 2010). Quando a madeira adulta é formada, há uma estabilização anatômica do lenho a menos que ocorra alguma forte influência nas condições ambientais (Zobel 1981). Na Costa Rica, foram constatadas mudanças radiais na densidade da madeira dentro das espécies, entre as espécies e também na sucessão

florestal entre grupos ecológicos especializados de uma floresta tropical (Plourde *et al.* 2015). Analisando o tronco de árvores com medula excêntrica Williamson e Wiemann (2011) demonstraram que a variação radial na densidade ocorre em função da idade e não do tamanho da árvore. Adicionado a essa descoberta, a idade poderia ser utilizada na marcação de pontos amostrais específicos (e.x. com anéis de crescimento) para analisar mudanças nas condições ambientais em um determinado período.

Já foi constatado que as variações na densidade e nos elementos anatômicos do lenho das árvores são influenciados pela idade, variação nos incrementos, espaçamento e práticas silviculturais (Viana 2008), sendo que essas variações poderiam ser melhor detectadas e interpretadas se as análises anatômicas fossem realizadas em um menor intervalo de medição no lenho. A técnica com densitometria de raios-x foi implantada no Brasil por Amaral (1994) e possibilita uma caracterização tecnológica da madeira com análises em intervalos micrométricos do lenho das árvores (Surdi *et al.* 2014), além de melhorar a precisão das análises em comparação aos métodos destrutivos convencionais (Castro 2011). Essa técnica foi aplicada para detectar as variações de densidade nos anéis de crescimento (Alvarado *et al.* 2010) caracterização dos anéis (Ferreira e Tomazello Filho 2009) e sua anualidade (Andrade *et al.* 2017).

As variações na densidade da madeira têm sido estudadas incluindo efeitos ambientais de altitude, latitude, temperatura, precipitação, (Wiemann e Williamson 2002; Swenson e Enquist 2007; Longui, *et al.* 2014b), fertilidade do solo (Muller-Landau 2004), frequência de inundação (Wittman *et al.* 2006) e sucessão florestal (Plourde *et al.* 2015), em que foram observadas amplas variações intra e inter-espécies nos resultados. Segundo Longui *et al.* (2014a), essas variações devem ser estudadas e compreendidas em cada espécie. Com uma estreita relação com a densidade, as fibras e os elementos de vasos também são importantes para um melhor entendimento sobre variações anatômicas ocorridas no lenho das espécies. Trabalhos avaliando as dimensões celulares de fibras e vasos têm demonstrado essas variações radiais inter e intraespecíficas (Longui *et al.* 2009; 2010; 2011; 2012; 2014a; Lima *et al.* 2010; 2011a; 2011b; 2015; Santos *et al.* 2011; Melo *et al.* 2013) as quais podem ser decorrentes de causas genéticas e ambientais (ver: Longui *et al.* 2011). Embora o manejo florestal provoque modificações na estrutura da floresta (Reis *et al.* 2010; Silva *et al.* 2016a; Schwartz *et al.* 2017), essas seriam capazes de inferir variações radiais na densidade e nas dimensões celulares da madeira? Na condução de estudos para avaliar essas variações são realizadas análises anatômicas pontuais no lenho da madeira (e.x: medula, intermediária e casca) sem datas pré-definidas (e.x: pré e pós manejo florestal) que não permitem avaliar essa hipótese. Entretanto,

com técnicas dendrocronológicas que identificam e delimitam os anéis de crescimento seria possível a realização de análises anatômicas em intervalos micrométricos pré-definidos na madeira, além de conhecer o incremento da espécie.

Com base na localização dos anéis de crescimento, o presente estudo avaliou variações anatômicas e de densidade da madeira ao longo do plano transversal do lenho das árvores com maior precisão e eficiência nas análises. Este estudo foi concentrado em duas espécies: *Q. paraensis* e *P. pendula* as quais são árvores abundantes que se estabelecem no dossel da floresta e que são amplamente exploradas em planos de manejo florestal. Além de analisar as variações da densidade e das dimensões celulares (fibras e vasos) na direção medula-câmbio, também foi avaliada a influência do manejo florestal nessas variações. Com esse propósito, foram coletados discos dos troncos de árvores de *Q. paraensis* e de *P. pendula* em uma floresta manejada em segundo ciclo de corte no sul da Amazônia. Esses discos foram preparados de modo a realizar a marcação anual dos anéis de crescimento e remoção de material lenhoso para realização das análises anatômicas e de densidade da madeira. Buscou-se com este estudo compreender como ocorrem as variações na densidade e nas dimensões celulares da madeira nessas espécies que foram manejadas em uma floresta tropical em segundo ciclo de corte.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Local de coleta do material e espécies estudadas

A área onde foram coletadas as amostras para este estudo é uma floresta com 1.413 ha que já havia sido explorada em uma intensidade de aproximadamente  $25\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$  (cerca de 5 árvores. $\text{ha}^{-1}$ ) no ano de 1987, ou seja, essa floresta está no segundo ciclo de corte. Situada em uma floresta tropical úmida, a área está localizada ao norte do estado de Mato Grosso e descrita como Floresta Estacional Sempre-Verde (IBGE 2012). Segundo a classificação de Köppen, o clima local é do tipo Aw, tropical, quente e úmido, com chuvas do tipo monçônico (Alvares *et al.* 2014). A precipitação média anual é aproximadamente  $1970\text{mm}.\text{ano}^{-1}$  com temperatura média anual de  $24,7^\circ\text{C}$  e período chuvoso de outubro a abril com inverno extremamente seco (Souza *et al.* 2013).

As espécies estudadas foram: *Qualea paraensis* Duke e *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp.. O principal critério para escolha dessas espécies foi possuírem anéis de crescimento visíveis que possibilitaram análises em anos pré-determinados (pré e pós manejo florestal). Além desse critério, de acordo com o inventário florestal da área, a espécie *Q. paraensis*

representou 34,8% das árvores exploradas no segundo ciclo de corte (2013) e a espécie *P. pendula* está entre as espécies com alto índice exploratório na Amazônia brasileira (Silva *et al.* 2014). *Q. paraensis* é classificada quanto ao grupo ecológico como sendo tipicamente oportunista (Ferraz *et al.* 2004). Além disso, essa espécie possui distribuição por toda a Amazônia, sendo uma árvore com altura de até 35m com tronco reto e cilíndrico, sua madeira é considerada pesada ( $0,78\text{g/cm}^3$ ), dura, de textura grosseira e utilizada para os mais diversos fins (Lorenzi 2002). *P. pendula* é uma árvore de grande porte, 20 a 30m de altura, inconfundível pelo aspecto tabular de sua copa, com tronco cilíndrico e retilíneo (Loureiro *et al.* 2000), sendo classificada como atípica por possuir características de três grupos (pioneiro, oportunista e clímax) ecológicos (Ferraz *et al.* 2004). É amplamente usada na construção civil e em embarcações (Souza *et al.* 1997) e na Amazônia brasileira ocorre nos estados do Pará, Amazonas, Acre, Mato Grosso, Rondônia e Maranhão (Souza *et al.* 1997).

### Processo de amostragem e mensuração dos elementos celulares

Aleatoriamente na área, foram extraídos de forma destrutiva 5 discos (amostras) de cada espécie. Todos os discos foram retirados próximos ao diâmetro à altura do peito (DAP) com espessura de 10cm em árvores saudáveis sem presença de ocos e distantes no mínimo de 100 metros entre elas. Essas árvores foram identificadas e o material botânico foi depositado no Herbário Centro Norte Mato Grossossense – CNMT da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT com número de tombo 6697 e 6700 respectivamente. Os dados dendrométricos referente a cada árvore estão na Tabela 1.

**Tabela 1.** Dados dendrométricos das árvores de *Q. paraensis* e *P. pendula*.

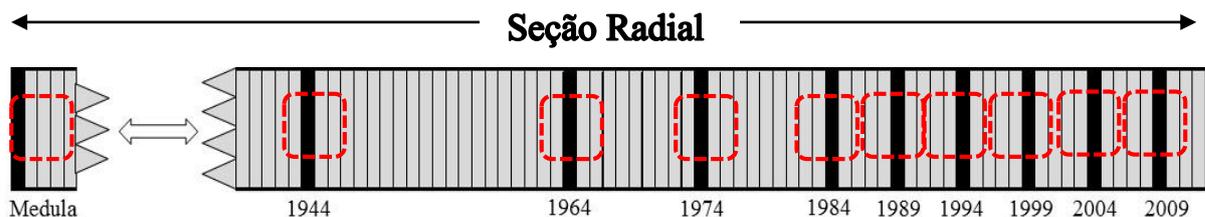
<i>Qualea paraensis</i>				<i>Parkia pendula</i>			
Árvore	Altura (m)	DAP (cm)	Idade (anos)	Árvore	Altura (m)	DAP (cm)	Idade (anos)
1	28	98,7	85	6	28	63,1	114
2	31	77,1	83	7	30	68,2	101
3	26	59,8	74	8	27	57,3	117
4	22	66,5	58	9	29	59,9	75
5	30	70,1	78	10	29	64,7	84
<b>Média</b>	<b>27,4</b>	<b>74,4</b>	<b>75,6</b>	<b>Média</b>	<b>28,2</b>	<b>62,7</b>	<b>98,2</b>

DAP = Diâmetro a altura do peito (1,3m)

Em cada disco foram realizadas a delimitação e a comprovação da anualidade dos anéis de crescimento por datação cruzada utilizando técnicas dendrocronológicas (Douglas 1941).

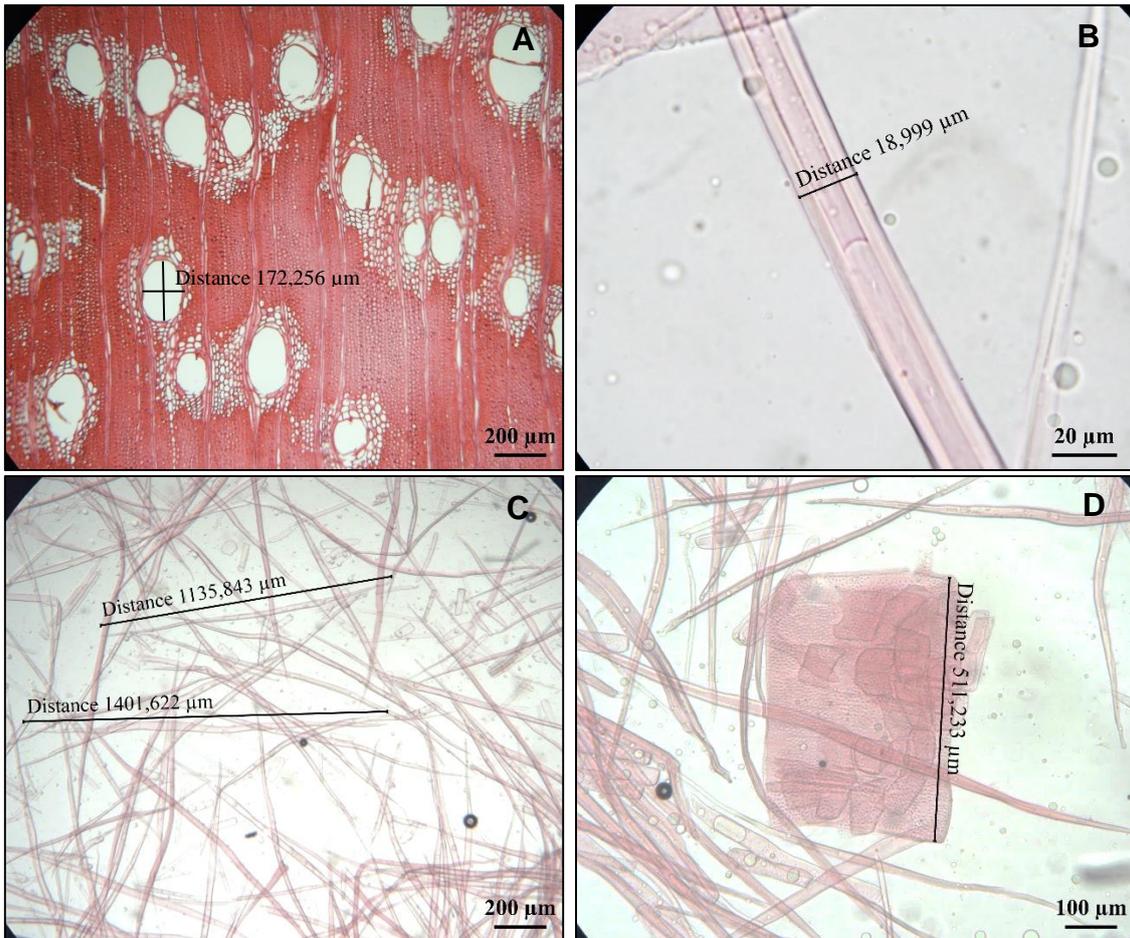
Posteriormente, a confirmação da anuidade desses anéis foi realizada (em cada disco) utilizando análises de radiocarbono em amostras obtidas pela remoção de um anel de crescimento datado preliminarmente pelas técnicas dendrocronológicas. As análises de radiocarbono foram realizadas na instalação Jena  $^{14}\text{C}$  AMS no Instituto Max-Planck de Biogeoquímica em Jena, Alemanha (Steinhof *et al.* 2004).

De cada um dos dez discos foi removida uma seção radial de 3 cm de largura na direção medula-câmbio. Cada seção radial é composta por 10 amostras de 2 x 2 x 2cm (corpos de prova) distribuídas ao longo dessa seção, totalizando 100. Os pontos de mensuração dos elementos celulares em cada corpo de prova foram os anéis referentes aos anos: 2009, 2004, 1999, 1994, 1989, 1984, 1974, 1964, 1944 e próximo à medula (Figura 1). Foram mensurados: comprimento de fibras (CF), espessura da parede das fibras (EPF), espessura total das fibras (ETF); comprimento dos elementos de vaso (CEV), diâmetro de vaso (DV), frequência de vasos (FV) e área ocupada por vasos (AOV). Nos pontos amostrais cada elemento anatômico foi mensurado 30 vezes conforme recomendações do IAWA Committee (1989).



**Figura 1.** Representação da seção radial com o local da retirada dos corpos de prova em linha tracejada vermelha (Posições radiais) e o respectivo anel para mensuração dos elementos anatômicos.

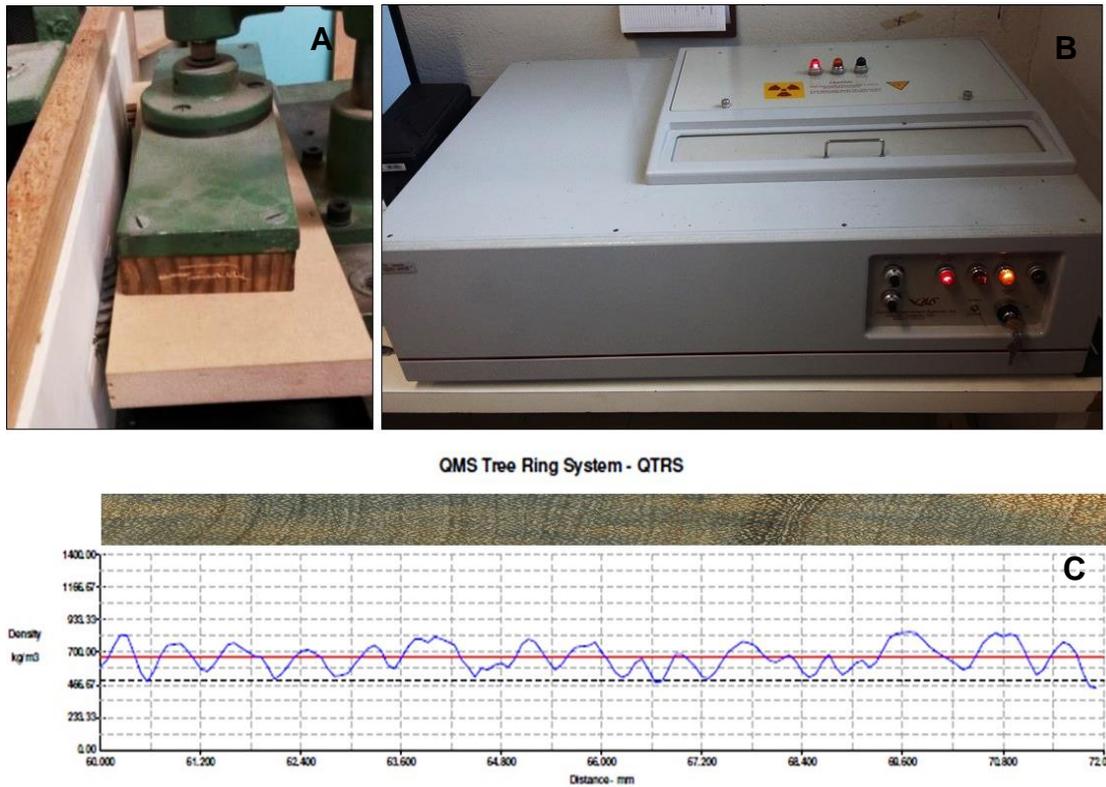
Os corpos de prova ( $6\text{cm}^3$ ) foram cozidos em água e glicerina na proporção de 4:1 até atingirem uma condição ideal para o corte histológico. Secções do plano transversal entre 14 e 20  $\mu\text{m}$  foram obtidas em micrótomo de deslize. As secções foram clarificadas em hipoclorito de sódio 60%, coradas em safranina hidroalcoólica 1% (Johansen 1940) e montadas em lâminas temporárias com solução de glicerina para mensuração de DV e FV (Figura 2A). Para a mensuração do CF, EPF, ETF e CEV (Figura 2B, 2C e 2D) foi preparado material macerado segundo o método de Franklin (1945). A variável AOV foi obtida do produto da área transversal dos vasos pela frequência dos vasos. A terminologia adotada para a análise anatômica seguiu as recomendações estabelecidas pelo IAWA Committee (1989). As mensurações foram realizadas utilizando microscópio óptico acoplado a uma câmera de vídeo para captura de imagens e sistemas de medições.



**Figura 2.** Mensuração dos elementos celulares. (A) diâmetro e frequência de vasos; (B) espessura total da fibra; (C) comprimento de fibras; (D) comprimento de elemento de vaso.

### Mensuração da densidade aparente (DA)

De cada seção transversal (3cm largura) foi retirada uma amostra com 2,0 mm de espessura cortada com auxílio de uma serra dupla (Figura 3A) na direção medula-câmbio. Essas amostras foram acondicionadas em câmara de climatização (24h, 20°C, 60% UR) (Amaral e Tomazello Filho, 1998). A determinação do perfil radial da DA (Figura 3C) foi realizada no laboratório de anatomia e dendrocronologia da ESALQ/Universidade de São Paulo com a utilização do equipamento QTRS modelo 01X da Quintek Measurement Systems, EUA (Figura 3B) com mensurações a cada 0,04 milímetros, seguindo a metodologia descrita por Surdi *et al.* (2014).



**Figura 3.** (A) Serra dupla para retirada da amostra; (B) Densitometro QTRS modelo 01X; (C) gráfico do perfil radial da DA da madeira.

### Análises

As análises para avaliar as variações da densidade (DA), fibras (CF, EPF, ETF) e elementos de vasos (CEV, DV e AOV) ao longo do plano transversal (posição radial) da madeira foram:

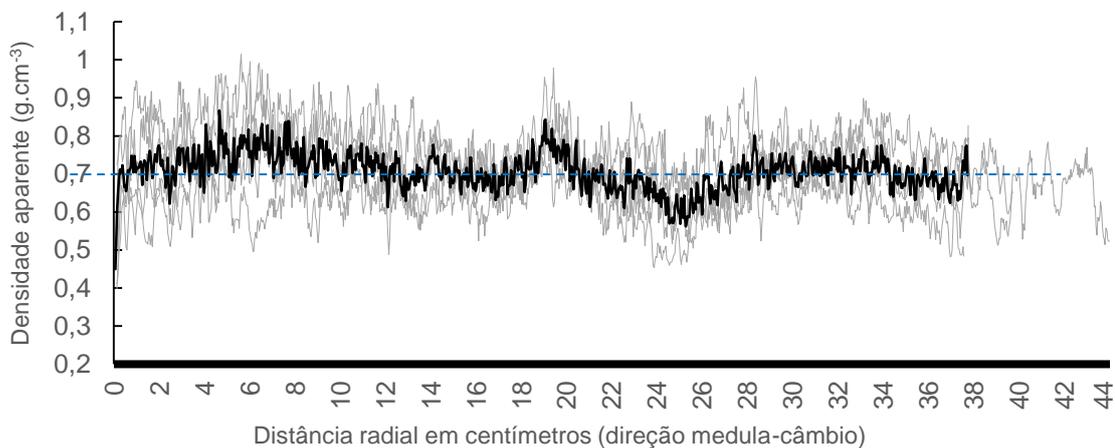
- i) Comparação da densidade e do tamanho de fibras e vasos entre diferentes posições radiais do plano transversal da madeira. Para isso, foram realizados os testes de normalidade dos dados, homogeneidade de variância, ANOVA e Tukey para comparação de médias, quando o teste ANOVA foi significativo ao nível de 5%;
- ii) Análise gráfica do comportamento das variáveis anatômicas (eixo y) ao longo do plano transversal da madeira (eixo x);
- iii) Correlação de Pearson (r) para identificar relações entre as variáveis anatômicas, a densidade aparente e incrementos (ICA). A base de dados para essa análise foi composta pela média de 150 medições (30 x 5 árvores) de cada variável em cada posição radial - PR (10 posições ao longo do plano transversal da madeira).

## RESULTADOS

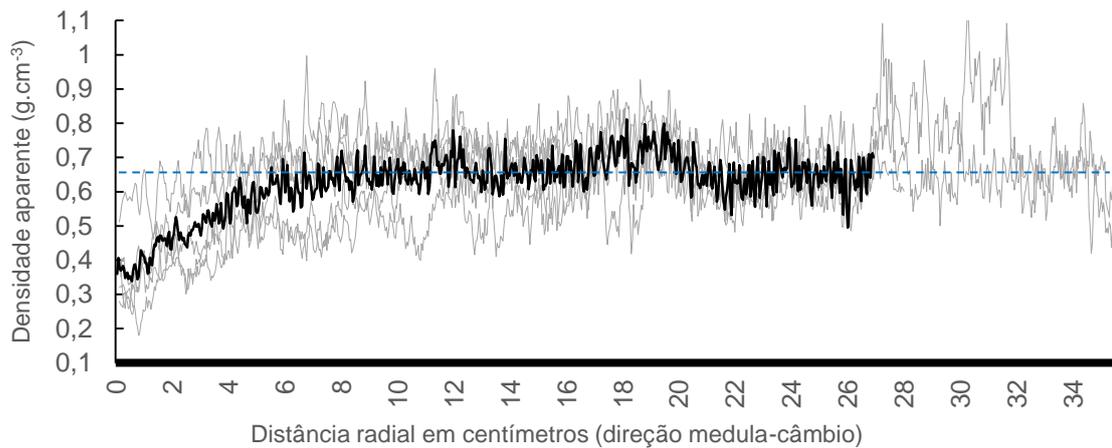
### Perfis densitométricos da madeira

Os valores de densidade aparente (DA) do lenho das cinco árvores de *Q. paraensis* e de *P. pendula* estão apresentados nas Figuras 4 e 5. Os perfis individuais das árvores são apresentados nos anexos. A média da DA de *Q. paraensis* foi  $0,69 \text{ g.cm}^{-3}$  (Tabela 2). Nessa espécie foram observadas poucas variações na DA ao longo do perfil radial. Um pequeno pico de DA foi identificado aos 19 cm de distância radial. Após esse pico, houve uma diminuição na densidade das árvores no período entre 22 e 27 cm de distância radial. Essas distâncias, na média, são equivalentes aos anos de 1988 e 1994, ou seja, pós manejo florestal. Nesse período, a DA das árvores esteve abaixo da média e a partir desse período não houve maiores variações.

Em *P. pendula* a média da DA foi  $0,66 \text{ g.cm}^{-3}$  (Tabela 3). Ao longo do perfil densitométrico, o comportamento da DA tendeu a aumentar consideravelmente até atingir a média com aproximadamente 8 cm de distância radial (Figura 5). Nessa distância as árvores apresentam idade média de 33 anos. A partir desse momento, a DA se manteve estável com a ocorrência apenas de variações pontuais.



**Figura 4.** Variações de DA vs. distância radial do plano transversal da madeira de *Q. paraensis*. Cada linha cinza representa a variação da DA de uma árvore individual; Linha preta mostra a variação da DA média quando  $n > 5$  amostras estavam disponíveis; Linha tracejada azul representa a DA média da espécie.



**Figura 5.** Variações de DA vs. distância radial do plano transversal da madeira de *P. pendula*. Cada linha cinza representa a variação da DA de uma árvore individual; Linha preta mostra a variação da DA média quando  $n > 5$  amostras estavam disponíveis; Linha tracejada azul representa a DA média da espécie.

### Densidades e dimensões das fibras e vasos na direção medula-câmbio

#### *Qualea paraensis*

As análises estatísticas descritivas e de inferência são apresentadas na Tabela 2. Apesar de menor evidência estatística ( $p=0,179$  e  $p=0,277$ ), é provável que a DA e o CF apresentem diferenças entre médias em relação as posições radiais. As demais variáveis as quais são provenientes das fibras não apresentaram evidências que comprovem variações dimensionais significativas ao longo do plano transversal de *Q. paraensis*. Os coeficientes de determinação dessas variáveis são baixos ( $<0,228$ ), indicando pouca relação com a posição radial.

As variáveis provenientes dos elementos de vaso (DV, FV e AOV) apresentaram evidências estatísticas ( $p<0,002$ ) que comprovam com muita confiabilidade que existem diferenças nas suas dimensões ao longo do plano transversal de *Q. paraensis*. Apesar da menor evidência estatística ( $p=0,143$ ), é provável que o CEV também apresente essas diferenças.

Mesmo com maiores valores de FV na região da medula, os valores da AOV foram menores nessa posição radial. Esse fato foi identificado devido aos menores valores dimensionais do DV encontrados nessa região. Foram observados coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,468 nessas variáveis (DV, FV e AOV), indicando que existe relação entre essas variáveis e a posição radial.

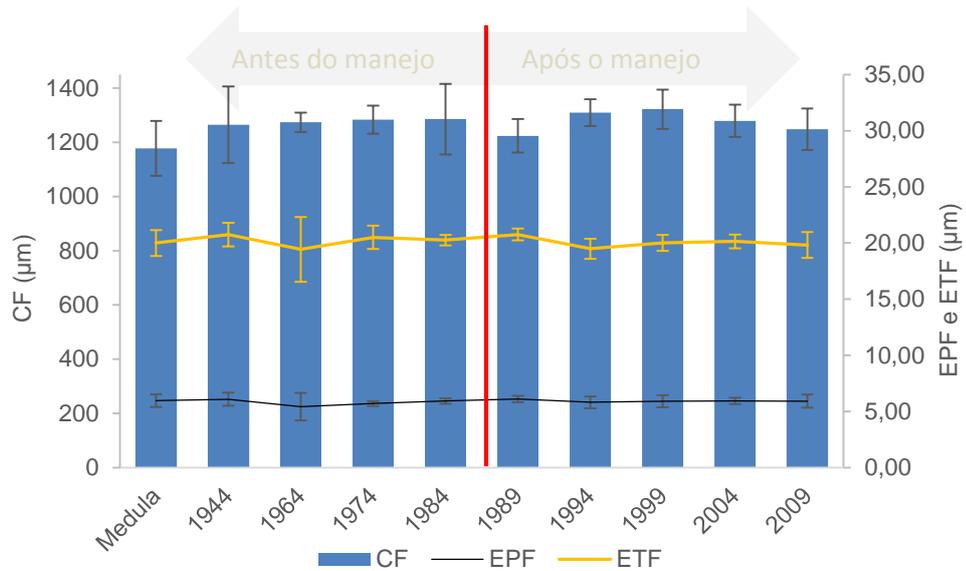
**Tabela 2.** Estatísticas das variáveis estudadas em *Q. paraensis*.

<b>Posição Radial</b>	<b>CF (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>EPF (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>ETF (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>CEV (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>DV (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>FV (<math>\text{n}^\circ.\text{mm}^{-2}</math>)</b>	<b>AOV (%)</b>	<b>DA (<math>\text{g}.\text{cm}^{-3}</math>)</b>	<b>ICA (mm)</b>
Medula	1178	5,97	20,00	415,7	95,2	6,70	4,8	0,630	2,61
1944	1265	6,08	20,75	415,3	129,2	5,13	7,2	0,724	3,94
1964	1274	5,42	19,43	383,2	139,6	4,33	6,7	0,743	4,64
1974	1284	5,70	20,50	410,8	146,6	4,06	7,1	0,716	4,35
1984	1286	5,92	20,25	377,2	137,5	3,94	6,0	0,707	4,71
1989	1224	6,10	20,76	350,7	139,9	3,94	6,2	0,634	6,15
1994	1310	5,81	19,49	365,6	149,5	4,38	7,9	0,669	5,03
1999	1322	5,91	20,01	384,4	160,9	4,50	9,4	0,719	4,18
2004	1280	5,93	20,14	391,3	157,9	4,73	9,8	0,738	6,17
2009	1249	5,92	19,82	425,2	156,1	4,88	9,9	0,682	5,80
<b>Média</b>	1267	5,87	20,10	391,9	141,5	4,65	7,53	0,695	4,78
<b>DP</b>	85,05	0,55	1,20	44,61	23,51	1,06	2,69	0,077	1,82
<b>R<sup>2</sup></b>	0,228	0,118	0,135	0,272	0,610	0,553	0,468	0,258	0,337
<b>p-valor</b>	0,277	0,804	0,726	0,143	0,000	0,000	0,002	0,179	0,043

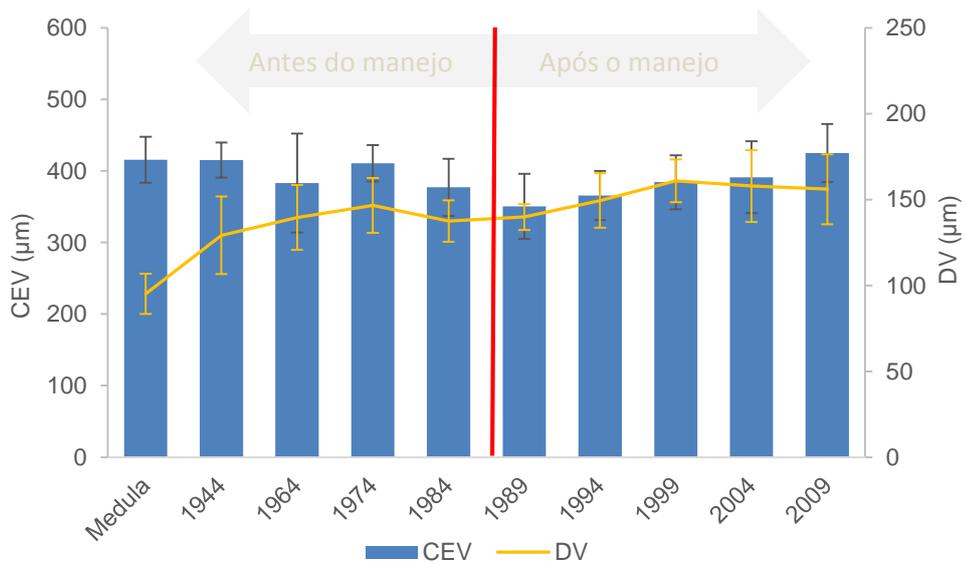
CF = comprimento de fibras; EPF = espessura da parede das fibras; ETF = espessura total das fibras; CEV = comprimento dos elementos de vaso; DV = diâmetro de vaso; FV = frequência de vasos; AOV = área ocupada por vasos; DA = densidade aparente; ICA = incremento corrente anual; DP = desvio padrão; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação do modelo linear. p-valor = Nível crítico (0,01 – 0 = Virtualmente diferente; 0,1 – 0,01 = Muito provável; 0,34 – 0,1 = Provável; 0,67 – 0,34 = Improvável; 0,9 – 0,67 = Muito improvável; 0,99 – 0,9 = Excepcional/Improvável) considerando IPCC, (2012).

Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentados os comportamentos das fibras (CF, EPF e ETF) e dos elementos de vaso (CE, DV, FV e AOV) ao longo do plano transversal representado pelas posições radiais. Note que foi inserida uma linha vermelha a qual divide essas figuras em dois momentos: antes e após o manejo florestal. Com relação as fibras, não foram observadas grandes variações dimensionais nas posições radiais (Figura 6).

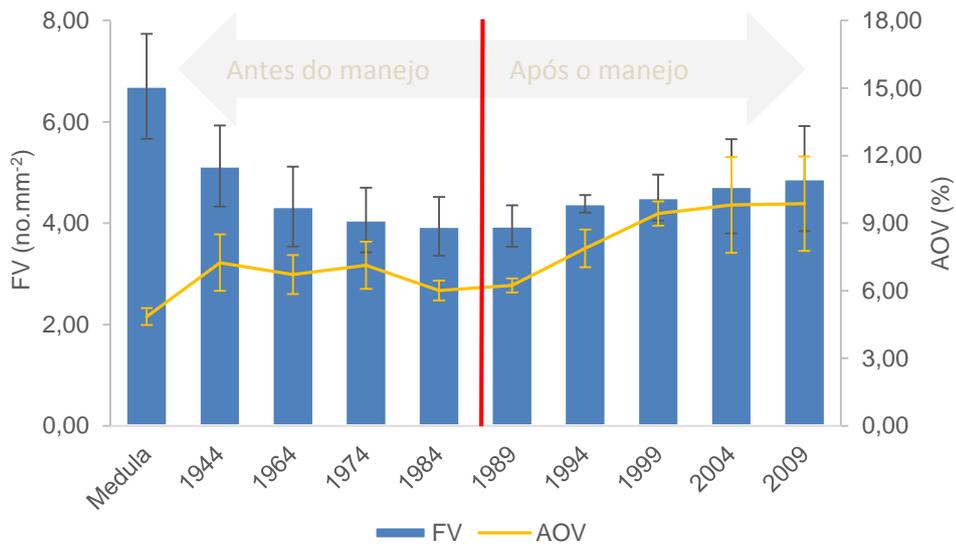
Foi observado que não houve grandes variações nas dimensões do CEV, entretanto houve aumento ( $p < 0,001$ ) no DV da região da medula (95  $\mu\text{m}$ ) até o ano de 1974 quando se estabiliza em aproximadamente 145  $\mu\text{m}$  (Figura 7). Porém, a partir de 1989, ou seja, após manejo florestal, houve uma nova tendência de aumento dessa variável até o ano de 1999 quando estabilizou com aproximadamente 160  $\mu\text{m}$ . O comportamento e as relações entre FV e AOV é observado na Figura 2B. A FV diminuiu ( $p < 0,001$ ) até 1974, enquanto que a AOV aumentou ( $p < 0,002$ ) após o manejo florestal devido ao aumento do DV após esse período de manejo.



**Figura 6.** Representação gráfica do comportamento dimensional das fibras em *Q. paraensis* com respectivos desvios-padrão. CF = Comprimento de fibra; EPF = espessura da parede das fibras; ETF = espessura total das fibras.



**Figura 7.** Representação gráfica do comportamento dimensional dos elementos de vaso em *Q. paraensis* com respectivos desvios-padrão. CEV = comprimento dos elementos de vaso; DV = diâmetro de vaso.



**Figura 8.** Representação gráfica do comportamento dimensional dos elementos de vaso em *Q. paraensis* com respectivos desvios-padrão. FV = frequência de vasos; AOV = área ocupada por vasos.

### *Parkia pendula*

As análises estatísticas descritivas e de inferência são apresentadas na Tabela 3. Foram observadas evidências estatísticas ( $p < 0,001$ ) que comprovaram com muita confiabilidade que as dimensões das fibras e a DA variam ao longo das posições radiais da madeira de *P. pendula* (Tabela 3). Os coeficientes de determinação nas variáveis derivadas das fibras são superiores a 0,51, indicando correlação com a posição radial.

Em relação aos elementos de vaso, o CEV e FV não apresentaram evidências estatísticas ( $p = 0,46$  e  $p = 0,82$ ) que comprovem variações dimensionais significativas. O DV e a AOV apresentaram evidências altamente significativas ( $p < 0,000$ ). O DV possui as duas primeiras posições radiais com dimensões inferiores as demais. A AOV apresenta três grupos estatisticamente diferentes, indicando variações importantes, porém sem apresentar tendências ao longo do plano transversal (Tabela 3).

**Tabela 3.** Estatísticas das variáveis estudadas em *P. pendula*.

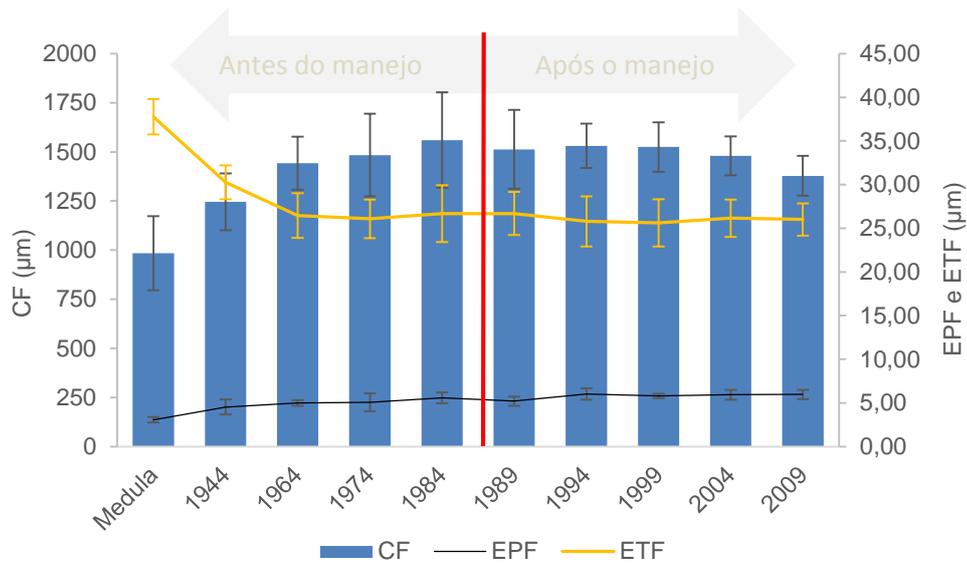
<b>Posição Radial</b>	<b>CF (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>EPF (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>ETF (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>CEV (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>DV (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>FV (<math>\text{n}^\circ.\text{mm}^{-2}</math>)</b>	<b>AOV (%)</b>	<b>DA (<math>\text{g.cm}^{-3}</math>)</b>	<b>ICA (mm)</b>
Medula	984	3,07	37,77	249,5	89,9	1,86	1,3	0,322	2,07
1944	1246	4,53	30,26	294,8	125,4	1,79	2,3	0,584	2,34
1964	1442	4,99	26,46	339,1	177,7	1,64	4,2	0,688	3,21
1974	1484	5,06	26,08	311,4	181,8	1,75	4,6	0,692	2,70
1984	1560	5,58	26,69	300,9	192,9	1,67	4,7	0,687	3,27
1989	1513	5,20	26,69	295,1	199,8	1,49	4,8	0,707	3,64
1994	1531	6,02	25,79	293,2	195,9	1,71	5,4	0,737	2,61
1999	1547	5,81	25,61	309,5	192,9	1,66	4,7	0,730	3,73
2004	1482	5,93	26,16	311,9	188,8	1,96	5,6	0,681	2,85
2009	1374	5,97	26,02	278,4	190,2	2,07	6,2	0,684	2,43
<b>Média</b>	1434	5,31	27,31	300,1	176,4	1,76	4,5	0,658	3,00
<b>DP</b>	208,36	0,94	3,74	46,81	37,31	0,48	1,75	0,13	1,05
<b>R<sup>2</sup></b>	0,512	0,647	0,652	0,192	0,684	0,117	0,576	0,706	0,297
<b>p-valor</b>	0,001	0,000	0,000	0,456	0,000	0,822	0,000	0,000	0,104

CF = comprimento de fibras; EPF = espessura da parede das fibras; ETF = espessura total das fibras; CEV = comprimento dos elementos de vaso; DV = diâmetro de vaso; FV = frequência de vasos; AOV = área ocupada por vasos; DA = densidade aparente; ICA = incremento corrente anual; DP = desvio padrão; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação do modelo linear.

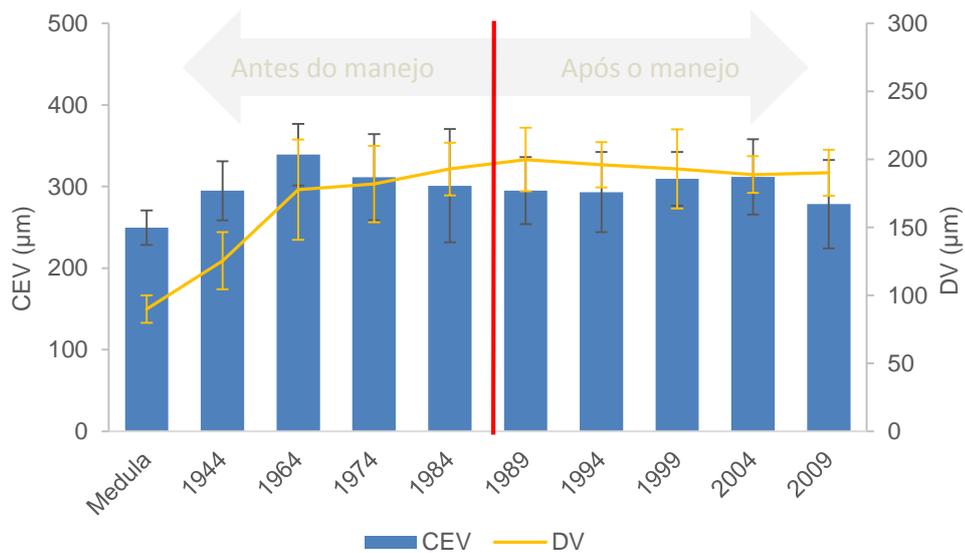
p-valor = Nível crítico (0,01 – 0 = Virtualmente diferente; 0,1 – 0,01 = Muito provável; 0,34 – 0,1 = Provável; 0,67 – 0,34 = Improvável; 0,9 – 0,67 = Muito improvável; 0,99 – 0,9 = Excepcional/Improvável) considerando IPCC (2012).

As Figuras 9, 10 e 11 apresentam os comportamentos das fibras (CF, EPF e ETF) e dos elementos de vaso (DV, FV e AOV) ao longo do plano transversal da madeira de *P. pendula*. Note que mais uma vez foi inserida uma linha vermelha a qual divide essas figuras em dois momentos: antes e após o manejo florestal. O CF e a EPF apresentam variações com tendências a aumentar suas dimensões em relação as duas primeiras posições radiais, e a partir desse momento (ano 1964) houve uma estabilização em suas dimensões (Figura 9). A ETF apresentou comportamento inverso com a diminuição de suas dimensões na duas primeiras posições radiais. Não foi observado nenhuma relação de variação das dimensões das fibras com o manejo florestal.

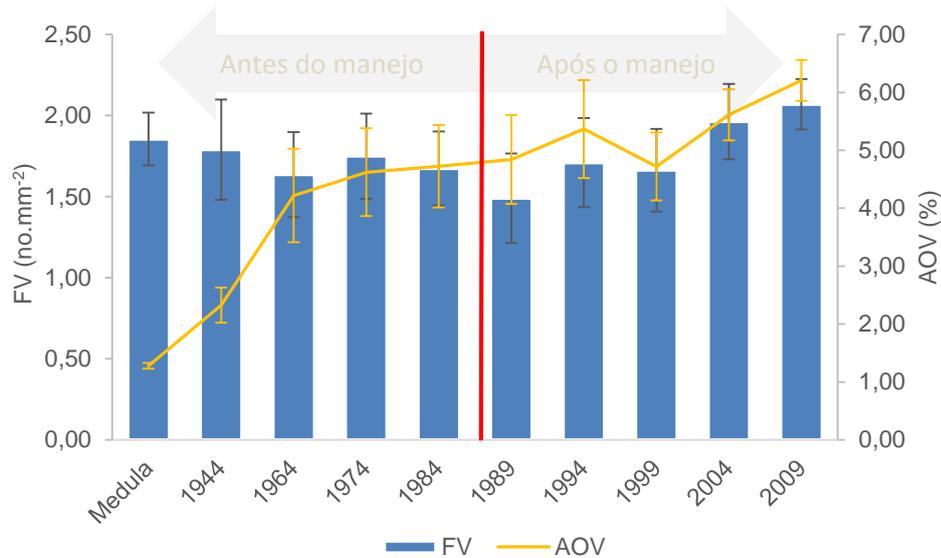
O CEV apresentou poucas variações sem nenhuma tendência ao longo do plano transversal. Foi observado também que o DV aumentou ( $p < 0,001$ ) sua dimensão até o ano de 1964 e partir desse momento se mantém estável (Figura 10). Parece existir uma relação entre FV e consequentemente AOV com o manejo florestal, pois é provável ( $p = 0,308$ ) que essas duas variáveis aumentem suas dimensões após o manejo florestal (Figura 11). Esse fato ficou mais evidente ao observar que essas variáveis se apresentavam praticamente estáveis durante várias posições radiais (de 1964 à 1989).



**Figura 9.** Representação gráfica do comportamento dimensional das fibras em *P. pendula* com respectivos desvios-padrão. CF = Comprimento de fibra; EPF = espessura da parede das fibras; ETF = espessura total das fibras.



**Figura 10.** Representação gráfica do comportamento dimensional dos elementos de vaso em *P. pendula* com respectivos desvios-padrão. CEV = comprimento dos elementos de vaso; DV = diâmetro de vaso.



**Figura 11.** Representação gráfica do comportamento dimensional dos elementos de vaso em *P. pendula* com respectivos desvios-padrão. FV = frequência de vasos; AOV = área ocupada por vasos.

### Relações entre as variáveis anatômicas, a densidade e os incrementos (ICA)

Todas as correlações entre as variáveis avaliadas ao longo do plano transversal da madeira de *Q. paraensis* e *P. pendula* estão apresentadas na Tabela 4. Em destaque estão as correlações com  $p < 0,005$  para cada espécie. Em *Q. paraensis* foi observado uma correlação positiva (0,42;  $p=0,003$ ) entre CF e DA. Esse resultado sugere uma relação entre essas variáveis. O oposto também é observado em uma correlação negativa entre FV e ICA (-0,49;  $p=0,00$ ).

Em *P. pendula*, com exceção do CEV, todas as variáveis anatômicas apresentaram correlação significativa ( $p < 0,02$ ) com a DA. O mesmo não foi observado na correlação entre (ICA) e as variáveis anatômicas, em que apenas o CF apresentou correlação positiva (0,42;  $p=0,003$ ).

**Tabela 4.** Coeficiente de correlação de Pearson (r) e grau de significância (p) entre as variáveis anatômicas e a densidade aparente e os incrementos (ICA) de *Q. paraensis*.

		<i>Q. paraensis</i>							
		CF	EPF	ETF	CEV	DV	FV	AOV	ICA
DA	r	0,42	0,21	0,13	-0,03	0,21	-0,09	0,15	0,13
	p	0,003	0,145	0,342	0,823	0,136	0,549	0,307	0,354
ICA	r	0,21	0,04	0,02	-0,22	0,22	-0,49	-0,09	--
	p	0,137	0,765	0,841	0,133	0,128	0,000	0,500	--
		<i>P. pendula</i>							
DA	r	0,53	0,60	-0,67	0,14	0,76	-0,20	0,54	0,33
	p	0,000	0,000	0,000	0,357	0,000	0,173	0,000	0,021
ICA	r	0,42	0,09	-0,10	0,17	0,25	-0,28	0,01	--
	p	0,003	0,522	0,486	0,229	0,076	0,053	0,965	--

CF = comprimento de fibras; EPF = espessura da parede das fibras; ETF = espessura total das fibras; CEV = comprimento dos elementos de vaso; DV = diâmetro de vaso; FV = frequência de vasos; AOV = área ocupada por vasos; DA = densidade aparente; ICA = incremento corrente anual.

p-valor = Nível crítico (0,01 – 0 = Virtualmente diferente; 0,1 – 0,01 = Muito provável; 0,34 – 0,1 = Provável; 0,67 – 0,34 = Improvável; 0,9 – 0,67 = Muito improvável; 0,99 – 0,9 = Excepcional/Improvável) considerando IPCC (2012).

## DISCUSSÃO

### Variação da densidade e do tamanho das fibras e vasos em espécies de árvores tropicais

#### Densidade

A densidade média da madeira avaliada em mais de 5 mil espécies tropicais em diversas regiões é de  $0,61 \pm 0,17$ , (Zanne *et al.* 2009; Chave *et al.* 2009). Nas florestas tropicais do Panamá a média em 334 espécies foi  $0,57 \text{ g.cm}^{-3} \pm 0,15$  e no Equador com 501 espécies foi  $0,60 \pm 0,13$  (Hietz *et al.* 2013). Na Amazônia a densidade média variou de 0,60 no sudoeste, 0,61 no noroeste, 0,64 no oeste e  $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$  na Amazônia central (Chave *et al.* 2006). Os resultados das densidades em *Q. paraensis* e *P. pendula* ( $0,69$  e  $0,66 \text{ g.cm}^{-3}$ ) estão acima da média em espécies tropicais e podem ser classificadas, segundo estudos de Silveira *et al.* (2013); Silva *et al.* (2015) como moderadamente duras por apresentarem densidades entre 0,55 e  $0,72 \text{ g.cm}^{-3}$ . A madeira de *Q. paraensis* foi descrita com densidade entre 0,7 e  $0,8 \text{ g.cm}^{-3}$  (Loureiro e Silva 1977). Mainieri e Chimelo (1989) encontraram densidade média de  $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$  nessa espécie. Na madeira de *P. pendula* foi encontrada densidade de aproximadamente 0,62 (Silva *et al.*

2015) e de  $0,56 \text{ g.cm}^{-3}$  (Silveira *et al.* 2013). Dessa forma, os resultados encontrados na literatura para a densidade média nas duas espécies foram muito semelhantes.

Embora a densidade média seja utilizada para avaliação da qualidade da madeira (Sette Jr. *et al.* 2012; Surdi *et al.* 2014), cálculos de quantificação de biomassa (Chave *et al.* 2014) e destinação de uso (Zenid *et al.* 2009), ela pode sofrer variações ao longo do raio do caule (Plourde *et al.* 2015). A forma mais observada na literatura descreve um aumento da densidade do lenho com a idade das árvores (Richter 2015), podendo estar correlacionada com as taxas de crescimento. A densidade tende a aumentar nas espécies com densidade inicial  $<0,6 \text{ g.cm}^{-3}$  e a diminuir em espécies com densidade inicial  $>0,6$  (Hietz *et al.* 2013). No entanto, em *Q. paraensis* onde a densidade na região da medula foi  $0,63 \text{ g.cm}^{-3}$ , não foram constatadas tendências para a diminuição da densidade e tampouco observada correlação com os incrementos ( $r=0,13$ ;  $p=0,35$ ). Em *P. pendula*, houve aumento significativo ( $p<0,00$ ) da densidade inicial de  $0,32 \text{ g.cm}^{-3}$  chegando a  $0,73 \text{ g.cm}^{-3}$  e uma baixa correlação com os incrementos ( $0,33$ ;  $p=0,02$ ).

Em uma floresta tropical do noroeste da Costa Rica, foram constatadas mudanças radiais na densidade da madeira dentro das espécies, entre as espécies e também na sucessão florestal entre grupos ecológicos especializados (Plourde *et al.* 2015). Segundo esses autores, as variações ocorreram em 42 das 74 espécies avaliadas com aumento em 37 espécies e diminuição em outras cinco na direção medula-câmbio. Em espécies de florestas tropicais do Brasil, foi constatado aumento na densidade da madeira na direção medula-câmbio em aproximadamente 32% em *A. graveolens* (Santos *et al.* 2011), 8% em *B. riedelianum* (Lima *et al.* 2011b), 54% em *A. colubrina* (Longui *et al.* 2014a), 16% em *P. dubium* (Lima *et al.* 2015). Neste estudo, *P. pendula* apresentou aumento de 112% na densidade na direção medula-câmbio. Entretanto, a maior parte desse aumento ocorreu da medula até aproximadamente 8 cm de raio (~33 anos). Nessa região, o lenho juvenil apresentou fibras com paredes mais finas as quais possuíram alta correlação ( $r=0,60$ ;  $p=0,00$ ) com uma menor densidade. Principalmente em pioneiras, o aumento na densidade é devido às árvores quando jovens competirem por maior luminosidade e enfrentarem pressão seletiva para crescer rapidamente em altura (Woodcock e Shier 2002) e, mais tarde, a madeira mais densa é produzida para conferir estabilidade mecânica (Hietz *et al.* 2013). Como não houve maiores variações na densidade, não foi constatado que o manejo florestal de 1987 tenha influenciado a densidade de *P. pendula*. Uma implicação importante desse resultado é que a madeira dessa espécie manteve suas características homogêneas quanto a densidade, sugerindo alta adaptabilidade mesmo em condições em que houve o corte de árvores decorrente do manejo florestal.

Em *Q. paraensis*, embora não tenham sido encontradas fortes evidências estatísticas para o aumento ou diminuição da densidade quando foram avaliadas as posições radiais ( $p=0,179$ ), foi observado uma importante variação na densidade da madeira dessa espécie no período de 22 à 27cm de distância radial (Figura 4). Essa variação só foi possível de ser detectada devido às análises micrométricas da densitometria de raios-x, pois os métodos destrutivos convencionais analisam amostras de 2 x 2 cm com intervalos variados ao longo do raio da árvore. Além disso, nesse período a densidade foi menor e coincidiu com datas pós manejo florestal (1989 e 1994) em que os incrementos foram maiores (Tabela 2). Apesar de ser um curto período, possivelmente, o manejo florestal tenha influenciado ao mesmo tempo o aumento no crescimento e na diminuição da densidade dessa espécie. Cabe ressaltar que para determinadas espécies, a observação dos efeitos no crescimento após longos períodos depende fundamentalmente de novas intervenções na floresta (Silva *et al.* 2016). Portanto, intervenções como o manejo florestal também poderiam ter influenciado a densidade da madeira dessa espécie.

### **Fibras e vasos**

Nos valores observados na literatura, a dimensão média das fibras de *Q. paraensis* e *P. pendula* foram respectivamente CF= 1079 e 1502  $\mu\text{m}$ ; EPF= 5,8 e 4,6  $\mu\text{m}$ ; ETF= 14,8 e 25,2 $\mu\text{m}$  (Mainieri e Chimelo 1989; Reis *et al.* 2014) e se aproximam dos encontrados neste estudo (1267, 5,9 e 20,1 $\mu\text{m}$  em *Q. paraensis* e 1434, 5,3 e 27,3 $\mu\text{m}$  em *P. pendula*). Além disso, para as referidas espécies, os valores obtidos para os elementos de vaso foram respectivamente: CEV= 382 e 458  $\mu\text{m}$ ; DV= 236 e 199 $\mu\text{m}$  (Mainieri e Chimelo 1989; Reis *et al.* 2014) e no presente estudo (392 e 300 $\mu\text{m}$ ; 141 e 176 $\mu\text{m}$ ). Essas diferenças podem ser decorrente de causas genéticas e ambientais (Longui *et al.* 2011) e de procedências e posição radial (Lima *et al.* 2015). Entretanto, não foram encontrados estudos que descrevem as variações nas dimensões celulares, sobretudo em áreas de manejo florestal.

Este é o primeiro trabalho que avalia as variações nas dimensões celulares com espécies tropicais que estão no segundo ciclo de corte em áreas de manejo florestal. Em *Q. paraensis* foram observadas variações importantes nas dimensões dos elementos de vasos, com aumento no DV ( $p=0,000$ ) e diminuição na FV ( $p=0,000$ ) na direção medula-câmbio. Em diversos trabalhos sobre a variação radial das fibras e dos vasos em espécies nativas brasileiras, todas as onze espécies apresentaram aumento no DV, sendo elas: *L. divaricata* (Longui *et al.* 2009), *C. floribundus* (Lima *et al.* 2010), *P. gonoacantha* (Longui *et al.* 2010), *G. integrifolia* (Longui *et*

al. 2011), *C. legalis* (Lima *et al.* 2011b), *B. riedelianum* (Lima *et al.* 2011a), *A. graveolens* (Santos *et al.* 2011), *P. reticulata* (Longui *et al.* 2012), *A. lecointei* (Melo *et al.* 2013), *A. colubrina* (Longui *et al.* 2014a), *P. dubium* (Lima *et al.* 2015). Apenas em *B. riedelianum* (Lima *et al.* 2011a) foi constatado aumento na FV, enquanto houve diminuição em outras cinco espécies: *G. integrifolia* (Longui *et al.* 2011), *C. legalis* (Lima *et al.* 2011b), *A. graveolens* (Santos *et al.* 2011), *P. reticulata* (Longui *et al.* 2012) e *P. dubium* (Lima *et al.* 2015).

Em *P. pendula* as variações nas dimensões celulares ocorreram principalmente na região da medula, evidenciando o lenho juvenil dessa espécie. Esse período é chamado juvenalidade e varia conforme a espécie (Lima *et al.* 2010). No presente estudo, foi observado que esse período ocorreu apenas em *P. pendula* com duração média de 33 anos (8cm de raio), quando há estabilização da densidade e nas dimensões celulares. O DV apresentou aumento ( $p=0,000$ ) em suas dimensões, enquanto que a ETF ( $p=000$ ) diminuiu em direção ao câmbio. Foi observado que houve aumento no CF ( $p=0,001$ ) e na EPF ( $p=000$ ), sendo que essa última foi determinante para o aumento da densidade dessa espécie. Das onze espécies citadas anteriormente, sete também apresentaram aumento no CF em direção ao câmbio, sendo elas: *C. legalis* (Lima *et al.* 2011b), *G. integrifolia* (Longui *et al.* 2011), *A. graveolens* (Santos *et al.* 2011), *P. reticulata* (Longui *et al.* 2012), *A. lecointei* (Melo *et al.* 2013), *A. colubrina* (Longui *et al.* 2014a) e *P. dubium* (Lima *et al.* 2015).

Os resultados deste estudo e os dados na literatura consultada apontam que as variações celulares na direção do câmbio ocorrem principalmente no DV, FV e CF das espécies. No entanto, essas variações devem ser estudadas e compreendidas em cada espécie (Longui *et al.* 2014a). Em *Q. paraensis* e *P. pendula* os resultados foram diferentes quanto às variações nas dimensões celulares na direção do câmbio, porém foi observado que no período pós manejo florestal, as duas espécies tiveram um comportamento semelhante no DV e na FV, aumentando consideravelmente a AOV. As análises gráficas (Figuras 8 e 11) foram importantes, pois evidenciaram que a AOV, mesmo quando já estabilizada, apresentou um aumento na sua dimensão após o manejo florestal. Esse resultado é incomum pois, em geral, quando as células alcançam suas dimensões máximas (madeira adulta) tendem a estabilizar, a menos que sejam influenciadas drasticamente por mudanças nas condições ambientais (Zobel 1981). Dessa forma, a hipótese que o manejo florestal poderia influenciar na variação das dimensões celulares das fibras e dos vasos é admissível e amplia o conhecimento acerca do manejo florestal e sua influência sobre as espécies arbóreas comerciais, sobretudo de florestas exploradas em segundo ciclo de corte.

## CONCLUSÕES

Este estudo propicia melhor entendimento de como ocorrem as variações anatômicas do lenho de *Q. paraensis* e *P. pendula* em florestas manejadas em segundo ciclo de corte.

A densitometria de raios-x foi decisiva para identificar variações na densidade da madeira das espécies estudadas as quais dificilmente seriam detectadas por métodos destrutivos convencionais.

Há variações importantes nas dimensões celulares na madeira de *Q. paraensis* e *P. pendula* as quais ainda não tinham sido reportadas, sobretudo em áreas de manejo de floresta tropical.

O manejo florestal influencia a AOV nessas espécies, portanto, é necessário um direcionamento de estudos concomitantes entre as áreas de manejo florestal e anatomia da madeira/tecnologia da madeira para ampliar os conhecimentos acerca da influência do manejo florestal na qualidade da madeira extraída das florestas de segundo ciclo de corte.

## SÍNTESE

O manejo de florestas tropicais, sobretudo àquelas que se encontram em segundo ciclo de corte é uma realidade no sul da Amazônia e também um desafio para realiza-lo sem ameaçar a sustentabilidade dessas florestas. Nesta tese, foram apresentados e discutidos resultados quanto à questionamentos importantes para o avanço do manejo florestal como: a existência de anéis de crescimento anuais, o comportamento do crescimento individual em espécies comerciais e as suas implicações para o diâmetro mínimo de corte e ciclo de corte. Além disso, também foram estudados aspectos relacionados com à qualidade da madeira como: a variação na densidade aparente e nas dimensões das fibras e dos vasos. Dessa forma, visando melhorar a compreensão desses questionamentos e por fim gerar informações que poderiam auxiliar melhores práticas de manejo, esta tese foi dividida em dois capítulos.

Nos resultados apresentados no capítulo 1, foi comprovada a existência de anéis de crescimento anuais em *Q. paraensis* e *P. pendula* o que permitiu estimar o diâmetro mínimo de corte (DMC) e o ciclo de corte (CC) mais adequados para essas espécies. Outra comprovação importante foi que o histórico de manejo florestal na área de estudo promoveu o aumento no incremento de *Q. paraensis*, ou seja, essa espécie teve seu crescimento favorecido quando submetida ao manejo, o que resulta em diminuição do CC. Quando foram confrontados os resultados da idade de um determinado anel obtidos nas análises de radiocarbono e na dendrocronologia, descobriu-se que podem ocorrer erros de aproximadamente 10% para delimitar e contar os anéis em *P. pendula*. Assim, caso esses erros não fossem detectados haveria uma diminuição na precisão nas estimativas do DMC e do CC dessa espécie. Embora esses erros não tenham ocorrido em *Q. paraensis*, ficou claro que se deve utilizar datações com radiocarbono para detectar e corrigir tais erros quando forem realizados estudos de crescimento com outras espécies da floresta tropical úmida de terra firme. Dessa forma, o estudo do crescimento individual das espécies com os anéis de crescimento geram estimativas de forma muito confiável e precisa sobre o DMC e o CC para cada espécie, ou ainda, para um determinado grupo de espécies com crescimento semelhantes.

O enfoque do capítulo 2 abordou alguns aspectos da qualidade da madeira que poderiam ter relação com o manejo florestal. Desse modo, foram avaliadas e discutidas as variações radiais na densidade aparente e nas dimensões das fibras e dos vasos na madeira de *Q. paraensis* e *P. pendula* e se o manejo florestal ocorrido na área de estudo teria influência sobre essas variações. Com esse propósito, esse estudo utilizou a densitometria de raios-x para mensurar micrometricamente a densidade ao longo do raio das árvores e a delimitação anual dos anéis de

crescimento para remover em locais pré-definidos ao longo do raio, amostras para mensuração das fibras e dos vasos. Esses procedimentos foram importantes, pois além de reportarem resultados inéditos para essas espécies, permitiram entender melhor como ocorrem as variações anatômicas na madeira das espécies estudadas. Em *P. pendula*, a densitometria de raios-x permitiu detectar lenho juvenil até 8 cm de raio com propriedades anatômicas diferentes do restante do lenho, o que poderia restringir o uso mais nobre da madeira nessa região. Com essa técnica, também foi possível detectar variações na densidade decorrentes do manejo florestal em *Q. paraensis* as quais dificilmente seriam detectadas por meio de métodos destrutivos convencionais. Houve variações em diversas variáveis estudadas, entretanto, a influência do manejo florestal foi mais evidente na área ocupada por vasos, o que poderia alterar a qualidade da madeira explorada de florestas em segundo ciclo de corte.

A aplicação dos resultados obtidos nesta tese poderiam auxiliar novas práticas de manejo florestal para as espécies estudadas, ou ainda, nortear novos estudos que visem aprimorar os critérios já definidos para o DMC e CC das espécies tropicais e, conseqüentemente, o manejo florestal dessas florestas. Além disso, é importante mencionar que a implementação de um DMC e o CC específico, por exemplo, garantiria um uso mais racional dos recursos madeireiros. Mas outras informações como a regeneração das espécies comerciais, mortalidade e biologia reprodutiva das árvores também devem ser levadas em consideração para o aprimoramento das práticas de manejo em florestas tropicais, especialmente nas florestas que estão no segundo ciclo de corte. Aliado a isso, a ampliação dos conhecimentos a respeito da qualidade da madeira explorada nessas florestas também poderia garantir um melhor aproveitamento dos recursos madeireiros no sul da Amazônia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, J.R.; Tomazello Filho, M.; Pollito, P.A.Z.; Lobão, M.S. 2010. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. *Scientia Forestalis*, 38: 171-179.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.; Sparovek, G. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22: 711–728.
- Amaral, A.C.B. 1994. Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. 143p.
- Amaral, A.C.B.; Tomazello Filho, M. 1998. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* pela microdensitometria de raios X. *Revista Ciência e Tecnologia*, 6: 17-23.
- Amaral, M.R.M. 2013. Dinâmica do crescimento de espécies comerciais remanescentes, em áreas exploradas experimentalmente em diferentes intensidades de corte na Amazônia Central. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Ciências de Florestas Tropicais, Manaus, Amazonas. 97p.
- Andrade, E.S. de.; Garcia, S.S.C.; Albernaz, A.L.K.M.; Tomazello Filho, M.; Moutinho, V.H.P. 2017. Growth ring analysis of *Euxylophora paraensis* through x-ray microdensitometry. *Ciência Rural*, 47: 1-6.
- Andreu-Hayles, L.; SANTOS, G.M.; Herrera-Ramírez, D.A.; Martin-Fernandez, J.; Ruiz-Carrascal, D.; Boza-Espinoza, T.E.; Fuentes, A.F.; Jorgensen, P.M. 2015. Matching dendrochronological with the southern hemisphere <sup>14</sup>C bomb curve to confirm annual tree rings in *Pseudolmedia rígida* from Bolívia. *Radiocarbon*, 57: 1–13.
- Braz, E.M.; Mattos, P.P.; Oliveira, M.F.; Bassos, R.O. 2014. Strategies for achieving sustainable logging rate in the Brazilian Amazon Forest. *Open Journal of Forestry*, 4: 100-105.
- Brienen, R.J.W.; Zuidema, P.A. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, 146: 1-12.
- Brienen, R.J.W.; Zuidema, P.A. 2006. The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management*, 226: 256–267.
- Brienen, R.J.W.; Zuidema, P.A.; Martinez-Ramos, M.M. 2010a. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. *Oecologia*, 163: 485-496.

- Brienen, R.J.W.; Lebrija-Trejos, E.; Zuidema, P.A.; Martínez-Ramos, M.M. 2010b. Climate-growth analysis for a Mexican dry forest tree shows strong impact of sea surface temperatures and predicts future growth declines. *Global Change Biology*, 16: 2001–2012.
- Brienen, R.J.W.; Schöngart, J.; Zuidema, P.A. 2016. Tree Rings in the Tropics: Insights into the Ecology and Climate Sensitivity of Tropical Trees. In: *Goldstein G, Santiago LS (ed) Tropical Tree Physiology: Adaptations and Responses in a Changing Environment*, Springer, p. 439-461.
- Bronk Ramsey, C.; Dee, M.; Lee, S.; Nakagawa, T.; Staff, R. 2010. Developments in the calibration and modelling of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 52: 953-961.
- Castro, V.R. 2011. Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.). Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulos, 108p.
- Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Schimel, J. 1998. Ancient trees in Amazonia. *Nature*, 391: 135-136.
- Chave, J.; Muller-Landau, H.C.; Baker, T.R.; Easdale, T.A.; ter Steege, H.; Webb, C.O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications*, 16: 2356-2367.
- Chave, J.; Coomes, D.A.; Jansen, S.; Lewis, S.L.; Swenson, N.G.; Zanne, A.E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12: 351-366.
- Chave, J.; Réjou-Méchain, M.; Búrquez, A.; Chidumayo, E.; Colgan, M. S.; Delitti, W. B. C.; *et al.* 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20: 3177-3190.
- Colpini, C.; Travagin, D.P.; Soares, T.S.; Silva, V.S.M. 2009. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. *Acta Amazonica*, 39: 97-104.
- Costa, D.H.M.; Silva, J.N.M.; Carvalho, J.O.P. 2008. Crescimento de árvores de uma área de terra firme na Floresta Nacional do tapajós após a colheita de madeira. *Revista Ciências Agrárias*, 50: 63-76.
- Cunha, T.A.; Finger, C.A.; Hasenauer, H. 2016. Tree basal area increment models for *Cedrela*, *Amburana*, *Copaifera* and *Swietenia* growing in the Amazon rain forests. *Forest Ecology and Management*, 365: 174-183.
- De Ridder, M.; Van den Bulcke, J.; Van Acker, J.; Beeckman, H. 2013. Tree-ring analysis of an African long-lived pioneer species as a tool for sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 304: 417-426.
- Dezzeo, N.; Worbes, M.; Ishii, I.; Herrera, R. 2003. Annual tree rings revealed by radiocarbon dating in seasonally flooded forest of the Mapire River, a tributary of the lower Orinoco River, Venezuela. *Plant Ecology*, 168: 165-175.

- Douglass, A.E. 1941. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forest*, 39: 825-831.
- Dünisch, O.; Latorraca, J.V.F. 2016. Impact of Site Conditions Changes on the Tree Ring Records Suitability as Climate Proxies in the Brazilian Amazon. *Floresta e Ambiente*, 23: 258-269.
- Durgante, F.M. 2016. Dinâmica de crescimento e incremento de espécies dominantes no Amazonas. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas.
- Fan, X.; Cao, K.F.; Becker, P. 2009. Axial and radial variations in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. *IAWA Journal*, 30: 1-13.
- Ferraz, I.D.K.; Leal Filho, N.; Imakawa, A.M.; Varela, V.P.; Piña-Rodrigues, F.C.M. 2004. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 34: 621-633.
- Ferreira, A.T.B.; Tomazello Filho, M. 2009. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. por densitometria de raios X. *Scientia Forestalis*, 37: 287-298.
- Fichtler, E.; Clark, D.A.; Worbes, M. 2003. Age and Long-term growth of trees in an old-growth Tropical Rain Forest, based on analyses of tree rings and  $^{14}\text{C}$ . *Biotropica*, 35: 306-317.
- Franklin, G.L. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood – resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, 155 :51.
- Groenendijk, P.; Sass-Klaassen, U.; Bongers, F.; Zuidema, P.A. 2014. Potential of tree-ring analysis in a wet tropical forest: A case study on 22 commercial tree species in Central Africa. *Forest Ecology and Management*, 323: 65-78.
- Hietz, P.; Valencia, R.; Wright, J. 2013. Strong radial variation in wood density follows a uniform pattern in two neotropical rain forests. *Functional Ecology*, 27: 684-692.
- Higuchi, N. 1994. Utilização e Manejo dos Recursos Madeireiros das Florestas Tropicais Úmidas. *Acta Amazonica*, 24: 275-288.
- Higuchi, M.I.G.; Higuchi, N. 2012. A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: Uma proposta de educação ambiental. 2da ed. Manaus, 424pp.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 43: 69-78.
- Hua, Q.; Barbetti, M.; Rakowski, A.Z. 2013. Atmospheric Radiocarbon for the Period 1950-2010. *Radiocarbon*, 55: 2059-2072.
- Hummel, A.C.; Alves, M.V.daSilva.; Pereira, D.; Veríssimo, A.; Santos, D. 2010. A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados / Serviço florestal brasileiro, Instituto do homem e meio ambiente da Amazônia. Belém, 20p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências 2ªed revista e ampliada. 274p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Geociências. ([http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas\\_doc5.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/mapas_doc5.shtm)). Acesso em 20/7/2017.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2017. Projeto Prodes – Monitoramento da Amazônia brasileira por satélite. Taxas anuais de 1988 – 2016. ([http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2016n.htm](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2016n.htm)). Acesso em 17/5/2017.

IAWA - International Association of Wood Anatomists Committee. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, 10: 219-332.

IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change eds. Field, C.B.; Barros, V.; Stocker, T. F.; Qin, D.; Dokken, D. J.; Ebi, K. L.; Mastrandrea, M. D.; Mach, K. J.; Plattner, G. K.; Allen, S. K.; Tignor, M.; Midgley, P. M. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 582p.

ITTO – International Tropical Timber Organization. 2017. Tropical Timber Market Report, 21: 1-15.

Jardim, F.C.S.; Soares, M.S. 2010. Comportamento de *Sterculia pruriens* (Aubl.) Schum. em floresta tropical manejada em Moju-PA. *Acta Amazonica*, 40: 535-542.

Johansen, D.A. Plant microtechniques. 1940. McGraw-Hill, New York, 523p.

Kalnay E; et al. 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40 year Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

Leoni, J.M.; Fonseca Júnior, daS.F.; Schöngart, J. 2011. Growth and population structure of the tree species *Malouetia tamaquarina* (Aubl.) (Apocynaceae) in the central Amazonian floodplain forests and their implication for management. *Forest Ecology and Management*, 261: 62-67.

Lima, I.L.de.; Zanon, B.R.; Longui, E.L.; Florsheim, S.M.B. 2010. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares de *Croton floribundus*. *Floresta*, 40: 663-670.

Lima, I.L.; Mastelin, S.M.; Longui, E.L.; Freitas, M.L.M.; Romeiro, D.; Zanatto, A.C.S.; Florsheim, S.M.B. 2011a. Densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Balfourodendron riedelianum* em função da procedência e posição radial. *Revista do Instituto Florestal*, 23: 217-230.

Lima, I.L.; Longui, E.L.; Garcia, M.F.; Zanatto, A.C.S.; Freitas, M.L.M.; Florsheim, S.M.B. 2011b. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência. *Cerne*, 17: 517-524.

- Lima, I.L.de; Longui, E.L.; Cerato, C.; Freitas, M.L.M. 2015. Basic specific gravity and anatomy of *Peltophorum dubium* wood as a function of provenance and radial position. *Revista do Instituto Florestal*, 27: 19-29.
- Lisi, C.S.; Pessenda, L.C.R.; Tomazello Filho, M.; Rozanski, K. 2001. <sup>14</sup>C Bomb effect in tree rings of tropical and subtropical species of Brazil. *Tree-ring research*, 57: 191-196.
- Longui, E.L.; Lima, I.L. de.; Florsheim, S.M.B.; Bufolo, A. 2009. Variação anatômica radial do lenho de açoita-cavalo (*Luehea divaricata*) e sua influência na densidade aparente. *Revista do Instituto Florestal*, 21: 181-190.
- Longui, E.L.; Lima, I.L. de.; Silva Junior, F.G. da.; Bufolo, A.; Suckow, I.M.S.; Florsheim, S.M.B. 2010. Variação radial das características anatômicas, densidade aparente, teores de extrativos, lignina e holocelulose na madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr. *Scientia Forestalis*, 38: 341-353.
- Longui, E.L.; Lima, I.L.de.; Andrade, I.M.; Freitas, M.L.M.; Florsheim, S.M.B.; Zanatto, A.C.S.; Silva Júnior, F.G.da. 2011. Seed provenance influences the wood structure of *Gallesia integrifolia*. *IAWA Journal*, 32: 361-374.
- Longui, E.L.; Lima, I.L.; Florsheim, S.M.B.; Melo, A.C.G.; Romeiro, D.; Suckow, I.M.S.; Testoni, L.N. 2012. Estrutura do lenho de *Plathymentia reticulata* e algumas implicações na eficiência hidráulica e resistência mecânica. *Floresta*, 42: 335-346.
- Longui, E.L.; Lima, I.L. de; Aguiar, O.T.de; Florsheim, S.M.B.; Suckow, I.M.S. 2014a. Radial variation of wood anatomy and basic density of *Anadenathera colubrina* (Vell.) Brenan. *Revista do Instituto Florestal*, 26: 193-201.
- Longui, E.L.; Assad, A.; Arzolla, F.A.R.D.P.; Vilela, F.E.S.P.; Baitello, J.B.; Lima, I.L.de.; Florsheim, S.M.B. 2014b. Ecological wood anatomy of *Ocotea curucutuensis*. *IAWA Journal*, 35: 356-362.
- López, L.; Villalba, R.; Bravo, F. 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. *Forest Ecology Management*, 292: 49-55.
- Lorenzi, H. 2002. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2.ed. Editora Instituto Plantarum, Nova Odessa, v.2, 368p.
- Loureiro, A.A.; Silva, M.F. 1977. Contribuição para o estudo dendrológico e anatômico da madeira de três espécies de *Qualea* (Vochysiaceae) da Amazônia. *Acta Amazonica*, 7: 407-416.
- Loureiro, A.A.; Freitas, J.A.; Ramos, K.B.L.; Freitas, C.A.A. 2000. Essências madeireiras da Amazônia. Manaus: MCT/ INPA/ CPPF, v.4, 191p.
- Mainieri, C.; Chimelo, J.P. 1989. Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. São Paulo, 418p.

- Melo, L.E.L.; Silva, C.J.; Urbinati, C.V.; Santos, I.S.; Soares, W.F. 2013. Variação anatômica no lenho de *Astronium lecointei* Ducke. *Floresta e Ambiente*, 20: 135-142.
- Mozeto, A.A.; Fritz, P.; Moreira, M.Z.; Vetter, E.; Aravena, R.; Salati, E.; Drimmie, R.J. 1998. Growth rates of natural Amazonian forest trees based on radiocarbon measurements. *Radiocarbon*, 30: 1-6.
- Muller-Landau, H.C. 2004. Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. *Biotropica*, 36: 20–32.
- Nakamura, T.; Masuda, K.; Miyake, F.; Nagaya, K.; Yoshimitsu, T. 2013. Radiocarbon ages of annual rings from Japanese wood evident age offset based on intcal09. *Radiocarbon*, 55: 763-770.
- Nebel, G. 2001. *Minquartia guianensis* Aubl.: use, ecology and management in forestry and agroforestry. *Forest Ecology and Management*, 150: 115-124.
- Nydal, R.; Lovseth, K. 1983. Tracing bomb <sup>14</sup>C in the atmosphere 1962–1980. *Journal Geophysical Research* 88: 3621-3642.
- Ohashi, S.; Durgante, F.M.; Kagawa, A.; Kajimoto, T.; Trumbore, S.E.; Xu, X.; Ishizuka, M.; Higuchi, N. 2015. Seasonal variation in the stable oxygen ratio of wood cellulose reveal annual rings of trees in a Central Amazon terra firme forest. *Oecologia*, 180: 685-696.
- Orosco, L.E.B.; Morales, S.H.; Hernandez, G.G.; Garcia, V.C.; Diaz, J.V. 2013. Dendrochronological potential of *Fraxinus uhdei* and its use as bioindicator of fossil CO<sub>2</sub> emissions deduced from radiocarbon concentrations in tree rings. *Radiocarbon*, 55: 833-840.
- Plourde, B.T.; Boukili, V.K. Chazdon, R.L. 2015. Radial changes in wood specific gravity of tropical trees: inter- and intraspecific variation during secondary succession. *Functional Ecology*, 29: 111-120.
- Ramírez, J.A.; del Valle, J.I. 2011. Paleoclima de La Guajira, Colombia; según los anillos de crecimiento de *Capparis odoratissima* (Capparidaceae). *Revista Biología Tropical*, 59:1389-1405.
- Reis, A.R.S.; Abreu, J.L.L.; Pinho, D.M.; Lisboa, P.L.B.; Urbinati, C.V. 2014. Caracterização anatômica da madeira de mandioqueira (*Qualea* Aubl.) comercializada no mercado madeireiro do estado do Pará. *Enciclopédia Biosfera*, 10: 448-462.
- Reis, L.P.; Ruschel, A.R.; Coelho, A.A.; Luz, A. Santos da.; Martins-Da-Silva, R.C.V. 2010. Avaliação do potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós após 28 anos da exploração florestal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 30: 265-281.
- Richter, C. 2015. Wood characteristics: description, causes, prevention, impact on use and technological adaptation. Cham: Springer International Publishing Switzerland, 222p.
- Rodríguez, R.; Mabres, A.; Luckman, B.; Evans, M.; Masiokas, M.; Ektvedt, T.M. 2005. “El Niño” events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia*, 22: 181-186.

- Rosa, S.A.; Barborsa, A.C.M.C.; Junk, W.J.; Nunes da Cunha, C.; Piedade, M.T.F.; Scabin, A.B.; Schöngart, J. 2017. Growth models based on tree-ring data for the Neotropical tree species *Calophyllum brasiliense* across different Brazilian wetlands: implications for conservation and management. *Trees*, 31: 729-742.
- Rozendaal, D.M.A.; Brienen, R.J.W.; Soliz-Gamboa, C.C.; Zuidema, P.A. 2010. Tropical tree rings reveal preferential survival of fast-growing juveniles and increased juvenile growth rates over time. *New Phytologist*, 185:759-769.
- Santos, G.M.; Linares, R.; Lisi, C.S.; Tomazello Filho, M. 2015. Annual growth rings in a sample of Paraná pine (*Araucaria angustifolia*): Toward improving the  $^{14}\text{C}$  calibration curve for the Southern Hemisphere. *Quaternary Geochronology*, 25:96-103.
- Santos, C.M.; Lima, I.L.; Longui, E.L.; Romeiro, D.; Zanatto, A.C.S.; Morais, E.; Zanata, M. Florsheim, S.M.B. 2011. A densidade básica e características anatômicas variam radialmente na madeira de *Astronium graveolens* Jacq. (ANACARDIACEAE). *Revista do Instituto Florestal*, 23: 191-201.
- Scabin, A.B.; Costa F.R.C.; Schöngart, J. 2012. The spatial distribution of illegal logging in the Anavilhanas archipelago (Central Amazonia) and logging impacts on species. *Environmental Conservation*, 39: 111-121.
- Schöngart, J. 2003. Dendrochronologische Untersuchungen in Überschwemmungswäldern der várzea Zentralamazoniens. Göttinger Beiträge zur Land und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen 149. Erich Goltze Verlag, Göttingen, Germany
- Schöngart, J.; Wittmann, F.; Worbes, M.; Piedade, M.T.F.; Krambeck, H.J.; Junk, W.J. 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science*, 64: 657-664.
- Schöngart, J. 2008. Growth-oriented logging (GOL): a new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management*, 256: 46-58.
- Schöngart, J.; Gribel, R.; Fonseca-Junior, S.F.; Haugaasen, T. 2015. Age and growth patterns of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. *Biotropica*, 47: 550-558.
- Schwartz, G.; Falkowski, V.; Peña-Claros, M. 2017. Natural regeneration of tree species in the Eastern Amazon: Short-term responses after reduced-impact logging. *Forest ecology and management*, 385: 97-103.
- Sette Jr, C.R.; Oliveira, I.R. de.; Tomazello Filho, M.; Yamaji, F.M.; Laclau, J.P. 2012. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, 36: 1183-1190.
- Silva, C.A. 1992. Variação dimensional dos elementos xilêmáticos em duas espécies madeireiras da Amazônia. *Acta Amazonica*, 22: 261-274.

- Silva, J.N.M.; Carvalho, J.O.P.; Lopes, J.doC.A.; Almeida, B.F.de., Costa, D.H.M.; Oliveira, L.C.de.; Vanclay, J.K.; Skovsgaard, J.P. 1995. Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. *Forest Ecology and Management*, 71: 267-274.
- Silva, J.R.O.; Albuquerque, M.C.F.; Silva, I.C.O. 2014. Armazenamento de Sementes de *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp. (FABACEAE) em Diferentes Embalagens e Ambientes. *Floresta e Ambiente*, 21: 457-467.
- Silva, C.J.da.; Vale, A.T.do.; Miguel, E.P. 2015. Densidade básica da madeira de espécies de Cerradão no estado de Tocantins. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35: 63-75.
- Silva, K.E.da.; Martins, S.V.; Ribeiro, C.A.A.; Santos, N.T.; Azevedo, C.P.de. 2016a. Structure of 15 hectares permanente plots of terra firme dense forest in central amazona. *Revista Árvore*, 40: 603-615.
- Silva, C.S.da.; Silva, F.da.; Carneiro, V.M.C.; Lima, A.J.N.; Santos, J.dos.; Higuchi, N. 2016b. Avaliação da estrutura de uma floresta submetida a diferentes intensidades de anelamento, 28 anos após a intervenção. *Scientia Forestalis*, 44: 987-999.
- Silveira, L.H.C.; Rezende, A.V.; Vale, A.T. 2013. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. *Acta Amazônica*, 43: 179-184.
- Soares-Filho, B.; Rajão, R.; Macedo, M.; Carneiro, A.; Costa, W.; Coe, M.; Rodrigues, H.; Alencar, A. 2014. Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, 344: 363-364.
- Soliz-Gamboa, C.C.; Rozendaal, D.M.A.; Ceccantini, G.; Angyalossy, V.; Van Der Borg, K.; Zuidema, P.A. 2011. Evaluating the annual nature of juvenile rings in Bolivian tropical rainforest trees. *Trees*, 25: 17-27.
- Souza, A.P.; Mota, L.L.; Zamadei, T.; Martim, C.C.; Almeida, F.T.; Paulino, J. 2013. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa*, 1: 34-43.
- Souza, D.V.; Carvalho, J.O.P.de.; Mendes, F.daS.; Melo, L.deO.; Silva, J.N.M.; Jardim, F.C.daS. 2014. Growth of *Manilkara huberi* and *Manilkara paraensis* after logging and silvicultural treatments in the municipality of Paragominas, Para, Brazil. *Floresta*, 44: 485-496.
- Souza, M.H.; Magliano, M.M.; Camargos, J.A.A. 1997. Madeiras tropicais brasileiras. IBAMA/LPF, 2ed. Brasília, 152p.
- Steinhof, A.; Adamiec, G.; Gleixner, G.; van Klinken, G.H.; Wagner, T. 2004. The new <sup>14</sup>C analysis laboratory in JENA, Germany. *Radiocarbono*, 46: 51-58.
- Steinhof, A.; Altenburg, M.; Matchts, H. 2017. Sample preparation at the JENA <sup>14</sup>C laboratory. *Radiocarbono*, 59: 815-830.
- Surdi, P.G.; Bortoletto Júnior, G.; Castro, V.R.de; Almeida, N.F.de; Mendes, R.F.; Chaix, G.; Tomazello Filho, M. 2014. Perfil de densidade do lenho utilizando métodos radiográficos. *Revista Scientia Forestalis*, 42: 229-236.

- Swenson, N.G.; Enquist, B.J. 2007. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its communitywide variation across latitude and elevation. *American Journal of Botany*, 94: 451-459.
- Ter Steege, H. *et al.* (2016). The discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa. *Scientific Reports* 2016 Jul 6:29549. doi: 10.1038/srep29549
- Tomazello Filho, M. 1987. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenioides*. *IPEF*, 36: 35-42.
- Vatraz, S.; Carvalho, J.O.Pde.; Gomes, J.M.; Taffarel, M.; Ferreira, F.E.R. 2012. Efeitos de tratamentos silviculturais sobre o crescimento de *Laetia procera* (Poepp.) Eichler em Paragominas, PA, Brasil. *Scientia Forestalis*, 40: 95-102.
- Viana, L.C. 2008. Uso do infravermelho próximo para predição de propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus*. 2008. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 120p.
- Vidal, E.; Viana, V.M.; Batista, J.L.F. 2002. Crescimento de floresta tropical três anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia oriental. *Scientia Forestalis*, 61: 133-143.
- Vieira, S.A. 2003. Mudanças globais e taxa de crescimento arbóreo na Amazônia. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 133p.
- Vieira, S. A.; Trumbore, S. E.; Camargo, P.B.; Selhorst, D.; Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Martinelli, L.A. 2005. Slow growth rates of amazon trees: Consequences for carbon cycling. *PNAS*, 102: 18502-18507.
- Vogel, J.C.; FULS, A.; Visser, E. 2001. Radiocarbon adjustments to the dendrochronology of a yellowwood tree. *South African Journal of Science*, 97: 164-166.
- Wiemann, M.C.; Williamson, G.B. 2002. Geographic variation in wood specific gravity: effects of latitude, temperature, and precipitation. *Wood and Fiber Science*, 34: 96-107.
- Williamson, G.B.; Wiemann, M.C. 2011. Age versus size determination of radial variation in wood specific gravity: lessons from eccentrics. *Trees*, 25: 585-591.
- Wils, T.H.G.; Robertson, I.; Eshetu, Z.; Sass-Klaassen, U.G.W.; Koprowski, M. 2009. Periodicity of growth rings in *Juniperus procera* from Ethiopia inferred from crossdating and radiocarbon dating. *Dendrochronologia*, 27: 45-58.
- Wils, T.H.G.; Robertson, J.; Eshetu, Z.; Touchan, R.; Sass-Klaassen, U.; Koprowski, M. 2011. Crossdating *Juniperus procera* from North Gondar, Ethiopia. *Trees*, 25: 71-82.
- Wittman, F.; Schöngart, J.; Parolin, P.; Worbes, M.; Piedade, M.T.F.; Junk, W.J. 2006. Wood specific gravity of trees in Amazonian white-water forests in relation to flooding. *IAWA Journal*, 27: 255-268.

- Woodcock, D.; Shier, A. 2002. Wood specific gravity and its radial variations: the many ways to make a tree. *Trees*, 16: 437-443.
- Worbes, M.; Junk, W.J. 1989. Dating tropical trees by means of  $^{14}\text{C}$  from bomb test. *Ecology*, 70: 503-507.
- Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees - a review. *IAWA Journal*, 16: 337-351.
- Worbes, M. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics - a brief history and na outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, 20: 217-231.
- Worbes, M.; Staschel, R.; Roloff, A.; Junk, W.J. 2003. Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *Forest Ecology and Management*, 173: 105-123.
- Worbes, M.; Fichtler, E. 2010. Wood anatomy and tree-ring structure and their importance for tropical dendrochronology. In: *Junk WJ et al. Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management*, Springer Netherlands, p.329-346.
- Yamaguchi, D.K. 1991. A simple method for cross-dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 21: 414-416.
- Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L.; *et al.* 2009. Global wood density database. Dryad. Available at: (<http://datadryad.org/handle/10255/dryad.235?show=full>). Acesso em:04/7/2017.
- Zenid, G.J. 2009. Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas; 2009, 99p.
- Zobel, B. 1981. Wood quality from fast-grown plantations. *TAPPI Journal*, 64: 17-74.
- Zobel, B.; Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons, New York, 505p.
- Zuidema, P.A.; Brien, R.J.W.; Schöngart, J. 2012. Tropical forest warming: looking backwards for more insights. *Trends Ecology & Evolution*, 27: 193-194.