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

Dendrocronologia aplicada no manejo de árvores de cedro (*Cedrela odorata*) L. e jatobá (*Hymenaea courbaril*) L. ocorrentes na FLONA Tapajós, PA

Luciana Karla Valéria dos Santos Sousa

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2019**

Luciana Karla Valéria dos Santos Sousa
Engenheiro Florestal

**Dendrocronologia aplicada no manejo de árvores de cedro (*Cedrela odorata*) L.
e jatobá (*Hymenaea courbaril*) L. ocorrentes na FLONA Tapajós, PA**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MARIO TOMMASIELLO FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências, Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos
Florestais

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Sousa, Luciana Karla Valéria dos Santos

Dendrocronologia aplicada no manejo de árvores de cedro (*Cedrela odorata*) L. e jatobá (*Hymenaea courbaril*) L. ocorrentes na FLONA Tapajós, PA/ Luciana Karla Valéria dos Santos Sousa. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

133 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Anéis de crescimento 2. Espécies amazônicas 3. Manejo florestal L. .
I. Título

DEDICATÓRIA

Ao meu amor maior, minha filha Anna Luísa e aos meus queridos
amores: meu marido Daniel, meus pais Daniel e Maria e meus irmãos
Bruna e Fábio. Dedico

AGRADECIMENTOS

Sou grata:

À Deus pela oportunidade de vivenciar este momento.

À minha filha amada, pelo seu amor, companheirismo, paciência, sem a qual não conseguiria realizar este sonho.

Ao meu marido, amigo, companheiro, pela paciência e compreensão em todos os momentos vividos nesta etapa de vida.

À minha família, meu porto seguro, por estar junto sempre, compartilhando todos os meus momentos nesta vida.

À Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA pelo incentivo à minha capacitação profissional. E, pelos dados das parcelas permanentes sob a responsabilidade da Prof^a Lia de Oliveira Melo, minha querida amiga.

Ao Professor Mario Tommasiello Filho pela orientação, amizade, compreensão e disponibilidade.

À Cooperativa Mista Flona Tapajós – COOMFLONA detentora do Projeto Ambé pelo seu apoio incondicional na disponibilidade das amostras, na coleta e em todos os momentos que necessitei. Meu agradecimento de coração a todos os membros da COOMFLONA. À minha querida Marcelene Farias sempre disposta em me ajudar com as informações solicitadas.

Ao Instituto Chico Mendes de Biodiversidade – ICMBio - escritório da FLONA Tapajós pela autorização de coleta e transporte e uso da área da unidade.

Ao Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais pela oportunidade de aprendizado.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo – ESALQ/USP por proporcionar aprendizado e experiência pessoal e profissional nesses quase quatro anos de estudo. Minha reverência e gratidão.

À MAUSA pela disponibilidade na usinagem das amostras de jatobá.

À EMBRAPA Amazônia Oriental na pessoa do pesquisador Lucas José Mazzei de Freitas pelo apoio e atenção no repasse dos dados das parcelas permanentes.

À Escola Educare, uma grande família que nos acolheu e nos proporcionou bons momentos de lazer, aprendizagem e amizade que levaremos conosco. Agradeço a generosidade e o carinho com a minha filha. Sentiremos saudades!

À Thais Moraes, querida bibliotecária da ESALQ/USP, que me ajudou bastante na busca de artigos.

Ao Prof. Renato Bezerra da Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA pelo seu apoio e disponibilidade em ajudar com as fórmulas de volume.

Ao Prof. Fernando Cristóvan da Silva Jardim “in memoriam” da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA por me apresentar o manejo de florestas nativas.

Ao Aparecido Cândido Siqueira pela amizade, companheirismo e prontidão em ajudar sempre. Meus eternos agradecimentos à você!

À Maria Bermudez pelo carinho, amizade, afeto, tudo combinado com um belo e gostoso café.

À Bruna Hornink pela amizade, apoio, dedicação, determinação compartilhada na execução deste trabalho. Muito grata.

À Patrícia Leite, pela amizade, atenção, disponibilidade. Minha gratidão a você minha querida.

Ao Lucian Gomes pela paciência e disponibilidade na elaboração dos mapas, sempre com muita simpatia.

Às minhas queridas amigas que encontrei nesta pequena jornada Raquel Medeiros, Angel Boschiero, Karina Lima, Mariana Franco, Alessandra Voigt, Giovana Oliveira, Zo Elia, Edilene Neves, Mariane Lima, Paula Paiva e Debora Soares agradeço a amizade e as nossas conversas.

À Milena Godoy-Veiga pelo apoio e companheirismo na metodologia da estimativa dos anéis das espécies próximos à medula.

Aos estagiários e graduandos de Engenharia Florestal Caroline Américo, Júlio Lavorenti, Janice Moraes, Laís Mune, Evely Mendonça que me ajudaram na missão do polimento das amostras.

As pessoas solícitas que sempre encontramos nesta vida, Carlito Fernandes dos Santos “Biru Biru”, Jefferson Polizel, Fidel Roig, Claudio Lisi, Edson Vidal, Peter Groenendyk, Renato Oliveira Baptista, Wesley Moraes, Fernando Andrade, Plácido Fabrício T. Melo Buarque, Alberto M. L. Peixoto Neto agradeço pela disponibilidade de vocês em me ajudar.

Aos colegas de laboratório pelo companheirismo e apoio Alci Albiero, Alejandro González, Alinne Santos, Allison Rangel, Cláudio Anholetto, Fernanda Guedes, Gabriela Ravo, José Peña, Luiz Santini, Manolo Quintilhan, Nayara Marcon, Ricardo Ortega, Roger Legoas.

À minha querida amiga Denise Lustosa que sempre torceu para a realização deste trabalho e para eu voltar logo para a minha terra.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Sou eternamente grata a todos que direta e indiretamente contribuíram e torceram para a execução deste trabalho de pesquisa.

Gratidão sempre!

EPÍGRAFE

*“Os vencedores da batalha da vida
São homens perseverantes que,
Sem se julgarem gênios se convenceram de que,
Só pela perseverança e esforço
Poderiam chegar ao fim almejado.”*

Émerson

Sumário

RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo Geral.....	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. Espécies estudadas – as árvores de <i>Cedrela odorata</i> L.	17
3.2. Espécies estudadas – as árvores de <i>Hymenaea courbaril</i> L.	19
3.3. Manejo das florestas tropicais	22
3.3.1. Manejo florestal.....	23
3.3.2. Manejo na Floresta Nacional do Tapajós	25
3.4. Dendrocronologia	26
3.4.1. A dendrocronologia em espécies tropicais.....	27
3.4.2. Manejo florestal e dendrocronologia	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1. Área experimental – Localização e caracterização da Floresta Nacional do Tapajós.....	33
4.2. Características da vegetação	35
4.3. Características do clima e do solo	36
4.4. Localização e coleta das amostras do lenho das árvores	37
4.5. Usinagem e polimento da seção transversal das amostras do lenho das árvores.....	42
4.6. Identificação, demarcação e mensuração dos anéis de crescimento.....	46
4.7. Anatomia dos anéis de crescimento do lenho das árvores.....	48
4.8. Análises dendrocronológicas aplicadas no estudo do lenho das árvores.....	50
4.8.1. Construção das séries de largura dos anéis de crescimento e o procedimento de datação cruzada	50
4.8.2. Correlação dos anéis de crescimento do lenho das árvores com as variáveis climáticas	52
4.8.3. Construção das curvas de crescimento do lenho das árvores pelos anéis de crescimento.....	54
4.8.4. Ciclo de corte e diâmetro mínimo das árvores pelos anéis de crescimento (manejo florestal)	58
5. RESULTADOS	59
5.1. Anatomia dos anéis de crescimento do lenho das árvores.....	59
5.2. Análises dendrocronológicas aplicadas no estudo do lenho das árvores.....	63
5.2.1. Construção das séries de largura dos anéis de crescimento e o procedimento de datação cruzada	63
5.2.2. Correlação dos anéis de crescimento do lenho das árvores com as variáveis climáticas	67
5.2.3. Curvas de crescimento do lenho das árvores construídas pelos anéis de crescimento.....	75

5.2.3.1. Idade das árvores	75
5.2.3.2. Curvas de crescimento cumulativo em diâmetro	75
5.2.3.3. Curvas de crescimento em área basal.....	77
5.2.3.4. Curvas de crescimento em altura	78
5.2.3.5. Curvas de crescimento em volume.....	80
5.2.4. Ciclo de corte e diâmetro mínimo das árvores pelos anéis de crescimento (manejo florestal)	81
6. DISCUSSÃO	85
6.1. Anatomia dos anéis de crescimento do lenho das árvores	85
6.2. Análises dendrocronológicas aplicadas no estudo do lenho das árvores	86
6.2.1. Construção das séries de largura dos anéis de crescimento e o procedimento de datação cruzada.....	86
6.2.2. Correlação dos anéis de crescimento do lenho das árvores com as variáveis climáticas.....	88
6.2.3. Curvas de crescimento do lenho das árvores construídas pelos anéis de crescimento	92
6.2.3.1. Idade das árvores	92
6.2.3.2. Curvas de crescimento	95
6.2.4. Ciclo de corte e diâmetro mínimo das árvores pelos anéis de crescimento (manejo florestal)	108
7. CONCLUSÕES	117
REFERÊNCIAS.....	119

RESUMO

Dendrocronologia aplicada no manejo de árvores de cedro (*Cedrela odorata*) L. e jatobá (*Hymenaea courbaril*) L. ocorrentes na FLONA Tapajós, PA

O crescimento das árvores é uma informação de grande importância para a realização do manejo florestal, sobretudo em diâmetro, onde a partir desta variável poderemos realizar as estimativas, principalmente em volume, que também podem ser obtidas pelo estudo dos anéis de crescimento para todo um ciclo de vida da árvore, além disso, um ciclo de corte e um diâmetro mínimo também poderão ser estabelecidos para espécies. As espécies *Cedrela* e *Hymenaea* foram selecionadas, devido a sua importância, ocorrência na área e tradicional exploração para uso da madeira, assim como sua utilização nos estudos com anéis de crescimento. A presente pesquisa objetivou: (i) descrever a anatomia dos anéis de crescimento formados nas árvores de *Cedrela* e *Hymenaea*; (ii) estimar a idade pelos anéis de crescimento; (iii) correlacionar o crescimento em diâmetro com as variáveis climáticas locais; (iv) determinar a taxa de crescimento em diâmetro; (v) indicar o diâmetro mínimo e o ciclo de corte utilizando os anéis de crescimento. Para o seu desenvolvimento, foram retiradas amostras da seção transversal do lenho da base das árvores oriundas do plano de manejo florestal Ambé, localizado na Floresta Nacional do Tapajós, em Belterra, PA. No estudo dos anéis de crescimento foram utilizados os softwares Cofecha e Arstan, para análise da mensuração e transformação dos dados de largura em índices, respectivamente, para posterior correlação com as variáveis precipitação e temperatura locais. Para a modelagem do crescimento e indicação do ciclo de corte e diâmetro mínimo foi utilizada a metodologia Growth Oriented Logging (GOL) para o manejo florestal na Amazônia. Para *Cedrela* os resultados foram: (i) anéis de crescimento tipo semi-porosos e delimitados pelo parênquima marginal; (ii) idade estimada entre 76 a 239 anos; (iii) correlação positiva com o fator precipitação; (iv) taxa de crescimento em diâmetro médio de 0,26 cm.ano⁻¹; (v) o diâmetro mínimo de corte (DMC), considerado o diâmetro ideal para o corte, e o ciclo de corte (CC), passagem média de tempo pelas classes de diâmetro a cada 10 cm, foi de 36,09 cm e 18 anos, respectivamente, com idade de 64 anos ao atingir o DMC. Para *Hymenaea* os resultados foram: (i) anéis de crescimento delimitados pelo parênquima marginal; (ii) idade estimada entre 125 a 296 anos; (iii) correlação positiva com o fator precipitação; (iv) taxa de crescimento em diâmetro médio de 0,35 cm.ano⁻¹; (v) o diâmetro mínimo de corte (DMC), considerado o diâmetro ideal para o corte, e o ciclo de corte (CC), passagem média de tempo pelas classes de diâmetro a cada 10 cm, foi de 56,84 cm e 19 anos, respectivamente, com idade de 110 anos ao atingir o DMC.

Palavras-chave: Anéis de crescimento; Espécies amazônicas; Manejo florestal

ABSTRACT

Dendrochronology applied in the management of cedro trees (*Cedrela odorata*) L. and jatoba (*Hymenaea courbaril*) L. occurring in FLONA Tapajos, PA

The growth of the trees is an information of great importance for management, mainly in diameter, in which from this variable we can make the estimates, mainly in volume, that can also be obtained by the study of the rings of growth for a whole cycle of tree life, in addition, cut cycle and minimum diameter can also be established for species. The species *Cedrela* and *Hymenaea* were selected due to their importance, occurrence in the area and traditional exploitation for wood use, as well as their use in studies with growth rings. The present research aimed to: (i) describe the anatomy of the growth rings formed in *Cedrela* and *Hymenaea* trees; (ii) estimating age by growth rings; (iii) correlate growth in diameter with local climatic variables; (iv) determine the rate of growth in diameter; (v) indicate the minimum diameter and the cutting cycle using the growth rings. For its development, samples were taken from the cross section of the wood from the base of the trees from the Ambe forest management plan, located in the Tapajós National Forest in Belterra, PA. In the study of the growth rings, the software Cofecha and Arstan were used for analysis of the measurement and transformation of the width data into indices, respectively, for later correlation with local precipitation and temperature variables. For growth modeling and indication of the cutting cycle and minimum diameter, the Growth Oriented Logging (GOL) methodology for forest management in the Amazon was used. For *Cedrela* the results were: (i) semi-porous growth rings delimited by marginal parenchyma bands; (ii) estimated age between 76 and 239 years; (iii) positive correlation with the precipitation factor; (iv) growth rate in mean diameter of 0.26 cm.year⁻¹; (v) the minimum diameter of logging (MLD), considered the ideal diameter for logging, and the cutting cycle (CC), mean time passing through diameter classes every 10 cm, was 36.09 cm and 18 years, respectively, at the age of 64 years on reaching MLD. For *Hymenaea* the results were: (i) growth rings delimited by marginal parenchyma bands; (ii) estimated age between 125 and 296 years; (iii) positive correlation with the precipitation factor; (iv) growth rate in mean diameter of 0.35 cm.year⁻¹; (v) the minimum logging diameter (MDL), considered the ideal diameter for logging, and the cutting cycle (CC), mean time passing through diameter classes every 10 cm, was 56.84 cm and 19 years, respectively, aged 110 years on reaching MLD.

Keywords: Growth rings; Amazonian species; Forest management

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais apresentam uma grande diversidade de árvores de espécies pouco conhecidas ou com informação incipiente a respeito de sua fisiologia, ecologia, silvicultura, economia, etc. O manejo florestal que utiliza as técnicas de impacto reduzido vem sendo mais intensamente difundido nos últimos anos, porém ainda não abrange todos os envolvidos que executam a exploração madeireira, principalmente pelos custos de implantação, de execução e de pós-execução, sobretudo este último ponto que traz muitas dúvidas sobre a recuperação a contento das árvores das espécies com o mesmo potencial ou aproximado, principalmente o volumétrico. A legislação florestal indica um ciclo de corte de 25 a 35 anos generalizado para as árvores de todas as espécies, sendo suficiente para a recomposição das árvores remanescentes da área (BRASIL, 2006).

Atualmente há preocupação e muitos questionamentos acerca dos impactos causados na biodiversidade, como também do restabelecimento volumétrico do fuste das árvores na floresta remanescente. Ressalta-se que, existem poucos estudos sobre esses impactos – biodiversidade. Todavia, observa-se que manejar a floresta para obtenção do principal produto, a madeira, vai muito além da utilização do método de impacto reduzido, pois os questionamentos surgem considerando principalmente o seu volume. É importante citar alguns exemplos como, a volumetria do lenho do fuste do segundo ciclo será a mesma volumetria do primeiro ciclo? As árvores das espécies comerciais estarão aptas (diâmetro, área basal do fuste) para corte em um segundo ciclo?

Dentre as informações biológicas básicas sobre as árvores das espécies madeireiras, consideradas importantes para desenvolver as práticas silviculturais destinadas à promoção da sua sobrevivência e crescimento, destaca-se a taxa de crescimento do fuste que varia entre as espécies e entre árvores considerando a sua idade ou a classe diametral. São necessárias informações detalhadas sobre o crescimento das árvores ao longo do seu ciclo de vida para prognosticar a reação das árvores remanescentes e determinar ciclos de colheita que possam ser sustentáveis às árvores das espécies madeireiras (GROGAN et al. 2006). Apesar disso, a legislação florestal não faz distinção entre as árvores das espécies quando

se trata do diâmetro mínimo do fuste para corte estabelecendo um único DMC a partir de 50 cm, para as árvores de todas as espécies, exceto para a *Swietenia macrophylla* King. (mogno) cujo DMC é a partir de 60 cm (BRASIL, 2003, 2006; SEMAS, 2015).

Tendo em vista a necessidade de informações para subsidiar o manejo das árvores nas florestas tropicais, juntamente com as já existentes, destaca-se a dendrocronologia que pode agregar e ajudar a dirimir as dúvidas, sobretudo na sugestão de ciclo de corte para as árvores por espécie a partir dos estudos sobre incremento em diâmetro, área basal e em volume pelos anéis de crescimento.

A dendrocronologia é um método científico que resgata o histórico de crescimento das árvores a partir de seus anéis de crescimento formados pela atividade cambial. Nesse caso, a partir das séries cronológicas estabelecidas para as árvores para todo o seu ciclo de vida, que podem reunir o diâmetro, a área basal, o volume do lenho e o tempo (idade) necessário para alcançá-lo, consequentemente um ciclo de corte poderá ser indicado, assim como as diretrizes para o seu manejo em complementação às já existentes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal a aplicação da dendrocronologia no manejo florestal das árvores de *Cedrela odorata* L. e de *Hymenaea courbaril* L. ocorrentes na floresta tropical Amazônica do projeto Ambé, localizada na Floresta Nacional do Tapajós.

2.2. Objetivos específicos

O presente trabalho tem como objetivos específicos: (i) descrever a anatomia dos anéis de crescimento formados nas árvores das espécies; (ii) estimar a idade das árvores das espécies pela análise dos anéis de crescimento; (iii) correlacionar o crescimento em diâmetro do fuste das árvores das espécies e as variáveis climáticas locais; (iv) determinar a taxa de crescimento em diâmetro do fuste das árvores das espécies; (v) indicar o diâmetro mínimo e o ciclo de corte das árvores das espécies utilizando os anéis de crescimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Espécies estudadas – as árvores de *Cedrela odorata* L.

As árvores de *Cedrela odorata* L. ocorrem no México, América Central, Guianas, Equador, Suriname, Peru, Venezuela, Paraguai, Argentina e Brasil (KRIBS, 1959). A distribuição geográfica no Brasil abrange as regiões Norte (Amapá, Pará, Amazonas, Acre, Rondônia); Nordeste (Maranhão, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Bahia); Centro-Oeste (Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul); Sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro) e Sul (Paraná, Santa Catarina) e o domínio fitogeográfico inclui Amazônia; Caatinga; Cerrado; Mata Atlântica, particularmente frequente, como também na floresta pluvial Amazônica (CORADIN et al. 2010; CNCFlora, 2012; LORENZI, 2013) (Figura 1). As árvores de *Cedrela odorata* L. constituem-se em espécie com alto valor comercial, sendo intensamente exploradas ao longo de toda sua distribuição há pelo menos dois séculos (CNCFlora, 2012).

As árvores de *C. odorata* L., são conhecidas por seus nomes populares, cedro, cedro-do-brejo, cedro-rosa, cedro-pardo, cedro-vermelho, acuju, cedro-branco, cedro-cheiros, pertencente à família Meliaceae. É uma árvore de grande porte caracterizada por crescimento rápido que atinge a altura entre 15 e 35 m com diâmetro de 90 a 150 cm e casca fissurada (LORENZI, 2013; MEKDECE et al. 2013).

De acordo com a sua ecologia é considerada uma planta decídua, heliófita ou de luz difusa, seletiva higrófila, característica das matas primárias e secundárias altas de terra firme (LORENZI, 2013). Considerada uma espécie secundária inicial (LIMA et al. 2011) na sucessão ecológica, ocorre em grandes clareiras e podem sobreviver sob o dossel da floresta e crescem mais quando recebem mais luminosidade (LEÃO et al. 2011). As espécies classificadas como secundárias iniciais ocorrem em condições de sombreamento médio ou luminosidade não muito intensa, aparecem em clareiras pequenas, bordas de clareiras grandes, bordas da floresta ou no sub-bosque não densamente sombreado (GANDOLFI et al. 1995).

A fenologia das árvores da espécie ocorrentes na FLONA Tapajós indica que o período de floração ocorre nos meses de março a abril, a frutificação de abril a novembro e a disseminação das sementes no mês de novembro (CARVALHO, 1980).

A fenologia das árvores de cedro na Estação Experimental de Curuá-Una – EECU, localizada à margem direita do rio Curuá-Una, município de Prainha-PA indica que a floração ocorre no período chuvoso nos meses de março a abril, a frutificação inicia no final do período chuvoso e termina no período seco compreendendo os meses de junho a setembro e finalmente a dispersão de suas sementes ocorre ainda no período seco nos meses de outubro a novembro (Figura 2) (MEKDECE et al. 2013). Os frutos amadurecem a partir de maio com a planta sem folhas e produzindo sementes anualmente (LORENZI, 2013).

Figura 1. Mapa de ocorrência das árvores de *Cedrela odorata* L. (CNCFlora, 2012)

Figura 2. Fenologia de árvores de *Cedrela odorata* na Estação Experimental de Curuá-Una, município de Prainha, PA (MEKDECE et al. 2013)

3.2. Espécies estudadas – as árvores de *Hymenaea courbaril* L.

As árvores de *Hymenaea courbaril* L. ocorrem no México, América Central, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela, Paraguai, Peru e Brasil (KRIBS, 1959). Sua distribuição geográfica abrange no Brasil as regiões Norte (Pará, Amazonas); Nordeste (Maranhão, Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Bahia); ou Centro-Oeste (Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul); Sudeste (Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro); Sul (Paraná) e distribuída largamente em diferentes domínios fitogeográficos que inclui Amazônia; Caatinga; Cerrado; Mata Atlântica; Pantanal. Incluída na lista das 100 espécies nativas mais comercializadas no Brasil em 2009 (CORADIN et al. 2010; CNCFlora, 2012) (Figura 3).

As árvores de jatobá são encontradas em altitudes até 900 m acima do nível do mar em solos bem drenados de terra firme e em várzeas altas, raramente em campo aberto. Desenvolvem-se bem em zonas úmidas com precipitação anual entre 1.500 e 3.000 mm (MELO & MENDES, 2005).

As árvores de *Hymenaea courbaril* L., pertencem à família Leguminosae e Subfamília Cesalpinioideae (PRANCE & SILVA, 1975), atualmente a família é Fabaceae (CORADIN et al. 2010). Os nomes comuns encontrados para a espécie são, jatobá-da-mata, abati, abati-copul-do-brasil, abati-timbaí, árvore-copal, burandã,

catá, comer-de-arara, copal-americano, copal-do-brasil, iataíba, ibiúva, jataí, jataí-amarelo, jataiaçu, jataí-grande, jataí-mondé, jataí-pororoca, jataí-roxo, jataí-verdadeiro, jataí-vermelho, jataíba, jataipeba, jataizinho, jataúba, jatioba, jatobá, jatobá-curuba, jatobá-d'anta, jatobá-da-caatinga, jatobá-de-porco, jatobámiúdo, jatobá-roxo, jatobá-trapuca, jatobá-verdadeiro, juputi, jutaí, óleo-jutaí, quebra-machado, trapuca (CORADIN et al. 2010; ANDRADE, 2015). A espécie possui casca lisa (raramente áspera com fissuras e sulcos profundos) com 1cm de espessura aproximadamente, copa ampla e esgalhada e pode atingir até 45 m de altura por 2 m de diâmetro (PRANCE & SILVA, 1975; MELO & MENDES, 2005).

É considerada uma espécie secundária tardia (LIMA et al. 2011), ou seja, intermediária na sucessão ecológica, tolerante a sombra no estágio juvenil e sua ecologia a caracteriza como uma planta semi-decídua, heliófita ou esciófita, seletiva xerófita, característica de floresta latifoliada que ocorre também em mata ciliar (SMAC, 2013). As espécies classificadas como secundárias tardias se desenvolvem no sub-bosque em condições de sombra leve ou densa, podendo permanecer toda a vida, ou então crescer até atingir o dossel ou a condição de emergente (GANDOLFI et al. 1995).

A fenologia das árvores da espécie na FLONA Tapajós registra que a floração ocorre entre os meses de agosto a novembro, a frutificação de setembro a agosto e a disseminação das sementes de julho a agosto (CARVALHO, 1980). Outros autores informam que a floração da espécie inicia no período seco (agosto-setembro) prolongando até o início do período chuvoso (dezembro) com duração de aproximadamente seis meses com pico de agosto a novembro e padrão anual, a frutificação no período seco, período aproximado de onze meses, com pico nos meses de novembro até outubro no ano seguinte, disseminação julho a outubro no período de menor índice pluviométrico e com padrão anual (OLIVEIRA & LEÃO, 1999).

A fenologia das árvores de jatobá registrada na Estação Experimental de Curuá-Una – EECU, localizada à margem direita do rio Curuá-Una, município de Prainha-PA indica a floração no período seco iniciando no final do mês de setembro e seguindo até o mês de dezembro, enquanto que a frutificação começa no final de dezembro ainda no período seco e estende-se no período chuvoso até o início do

mês de julho no período seco, a dispersão das sementes inicia ainda no período chuvoso no final do mês de junho chegando até quase o final do mês de setembro no período seco. As fases (floração, frutificação e dispersão) se intercalam e envolvem as árvores da espécie durante o ano todo (Figura 4) (MEKDECE et al. 2013). Na Amazônia Central, as árvores florescem de agosto a novembro e frutificam de fevereiro a setembro (MELO & MENDES, 2005).

As árvores de jatobá produzem frutos comestíveis e resina rica em terpenos “jutaicica” ou “copal-da-américa” que exsuda do fuste, ramos e até dos frutos solidificando na própria árvore ou caindo no solo, encontrada em estado petrificado e pode ser utilizada para fabricação de vernizes (RIZZINI, 1971; PRANCE & SILVA, 1975; MELO & MENDES, 2005).

Figura 3. Mapa de ocorrência de árvores de *Hymenaea courbaril* L. (CNCFlora, 2012)

Figura 4. Fenologia de árvores de *Hymenaea courbaril* na Estação Experimental de Curuá-Una, município de Prainha, PA (MEKDECE et al. 2013)

3.3. Manejo das florestas tropicais

De acordo com a Lei de Gestão de Florestas Públicas o manejo florestal sustentado é a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços florestais (BRASIL, 2006; SFB, 2016).

Algumas terminologias usadas em manejo florestal na Amazônia brasileira e suas características de acordo com SABOGAL et al. (2009).

Exploração florestal – colheita de produtos florestais;

Exploração convencional – exploração sem planejamento, sem pessoal qualificado e com máquinas inapropriadas;

Exploração planejada – exploração com planejamento eficiente de todas as etapas (inventário, infraestrutura, etc.) para maximização da produção e redução dos desperdícios;

Exploração de impacto reduzido – exploração planejada prevendo atividades para minimizar os danos causados a vegetação remanescente, manutenção do estoque para futuras colheitas;

Manejo florestal – exploração de impacto reduzido prevendo atividades de pós-colheita (tratos silviculturais) para estimular o desenvolvimento da floresta e a proteção da área;

Manejo florestal sustentável – prevê atividades que garantam a manutenção dos serviços ambientais, econômicos e sociais da floresta para as atuais e futuras gerações;

Plano de manejo florestal sustentável – planejamento da utilização da floresta acordado com a legislação vigente e aprovado pelo órgão ambiental competente;

Manejo certificado – certificação da produção pela obediência a princípios, critérios e indicadores do bom manejo florestal indicados previamente pelo certificador.

Ainda SABOGAL et al. (2009) afirmam que é importante discernir entre os diferentes conceitos de manejo florestal no que diz respeito ao uso comercial da floresta na Amazônia.

3.3.1. Manejo florestal

As práticas do bom manejo florestal limitam o número de árvores a serem exploradas e protegem as árvores mais jovens, garantem a manutenção da cobertura florestal e dos serviços ambientais promovidos pela floresta, com isso assegura a sustentabilidade econômica da operação florestal, devido ao não esgotamento do estoque de madeira, podendo a exploração ocorrer em ciclos contínuos. A falta de informação sobre os benefícios do manejo, de equipamentos adequados e de recursos humanos treinados são considerados os maiores entraves à adoção do bom manejo (BAITZ et al. 2008).

Para o manejo florestal de impacto reduzido o planejamento das atividades é fundamental, que reflete em ganhos expressivos na eficiência e nas reduções

drásticas dos danos ecológicos à floresta, proporcionando maior expectativa de produção em múltiplas colheitas. Enquanto que, o manejo florestal sustentável objetiva a produção da madeira a curto ou longo prazo, melhoria do habitat da fauna e flora, preservação de serviços ambientais (água limpa e biodiversidade) e até a prevenção de incêndios, dentre outros, ou seja, produzir bens e serviços de forma ininterrupta, ao longo de várias gerações, para que seja considerável o uso sustentável da terra (SCHULZE et al. 2008b).

O manejo florestal sustentável propõe que os sistemas operacionais sejam conjugados com as práticas silviculturais dirigidas às necessidades de crescimento e regeneração das árvores remanescentes da primeira colheita, ou seja, que existam condições adequadas de crescimento para este estoque garantindo as colheitas futuras como também a integridade da floresta (GROGAN et al. 2006).

As pesquisas apontam para componentes-chave que, se forem incorporados em um manejo florestal sustentável, aumentariam o potencial para rendimentos sustentáveis de madeira tropical de alto valor. Essas normas mínimas combinam: exploração de impacto reduzido; ciclos de corte de 60 anos ou mais; intensidades de colheita de menos de cinco árvores por ha e remoção da área basal de aproximadamente 15% ou menos; um diâmetro mínimo de corte de 60 cm; retenção de árvores porta-sementes com base na autoecologia da espécie sob manejo; tratamento silvicultural pós-exploração que inclui o plantio com enriquecimento de mudas e acompanhamento. A fraca governança no setor florestal continua sendo um obstáculo importante para a implementação de qualquer forma de manejo florestal nos trópicos (ZIMMERMAN & KORMOS, 2012).

Na Amazônia, o registro de impacto reduzido no manejo florestal sustentável resulta em danos significativamente menores do que o abate convencional não planejado. Entretanto, qualquer um dos métodos de exploração leva a uma fragmentação substancial do dossel da floresta, considerando que na Amazônia oriental, as florestas são essencialmente formadas de mosaicos de manchas de diferentes fases sucessionais (SCHULZE & ZWEEDE, 2003).

Contudo, com o manejo a redução do dano ao suporte residual combinado com o uso de tratamentos silviculturais proporciona o aumento do volume de

madeira disponível para cortes seletivos futuros. Ademais, em período de médio prazo as operações planejadas demonstram melhor desempenho econômico em comparação com as não planejadas (BARRETO et al. 1998). Com base nestes resultados, relata-se que, na Amazônia oriental após 20 anos de monitoramento pós-exploratório, a exploração de impacto reduzido é aplicada corretamente com as taxas de biomassa e a recuperação do volume de madeira são mais rápidos do que após a exploração convencional (VIDAL et al. 2016).

A *Hymenaea courbaril* foi uma das seis espécies estudadas na simulação da recuperação de sua população pós-exploração madeireira para um primeiro ciclo de corte de 30 anos em diversas áreas na Amazônia resultando em projeções de densidade e volume médios na segunda colheita de 40-50% do valor da primeira colheita, com o incremento médio anual do diâmetro do tronco abaixo de 1cm.ano^{-1} , classificada como espécie de crescimento intermediário (SCHULZE et al. 2008a).

3.3.2. Manejo na Floresta Nacional do Tapajós

De acordo com a coletânea de inventários florísticos realizados para o Plano de Manejo da FLONA Tapajós, as árvores das espécies de *C. odorata* e *H. courbaril* são componentes e listadas nesses levantamentos (IBAMA, 2004).

A partir da avaliação do potencial madeireiro da FLONA do Tapajós após 28 anos da exploração florestal, sugeriu-se que o planejamento para exploração seja realizado por espécie/grupos de espécies com mesmo valor de incremento volumétrico, ou seja, as árvores ocorrentes na floresta podem apresentar um incremento, distribuição do diâmetro do tronco favorecendo a recuperação equilibrada das árvores das espécies de maior produtividade florestal (REIS et al. 2010).

Na Floresta Nacional do Tapajós foi conduzido um estudo sobre a influência da intensidade da intervenção silvicultural na composição das árvores das espécies e na diversidade em um período de mais de 30 anos de exploração comparando com as condições pré-exploratórias. As intervenções exploratórias ocorreram em 1982 e de desbaste em 1993-1994 e variaram em intensidade de 19 a 53% de redução na área basal original. Os resultados demonstraram que a composição de

espécies arbóreas ($DAP \geq 10$ cm) foi substancialmente afetada por intensidades de intervenção silviculturais (redução de área basal $6,6 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$) durante um período de 30 anos após a primeira exploração. Além da redução na área basal, as mudanças na composição das espécies arbóreas ainda não apresentam sinais de recuperação em relação às condições pré-exploratórias. No entanto, a diversidade de espécies não foi prejudicada indicando um alto valor de conservação dessas florestas. O referido estudo também indicou que 30 anos não são suficientes para monitorar as consequências ecológicas das intervenções silviculturais, sendo necessário monitoramento a longo prazo (AVILA et al. 2015).

Em um período de 8 anos após a exploração realizada em 1982 na FLONA do Tapajós foi analisado o crescimento de espécies arbóreas com $DAP \geq 5$ cm a partir de parcelas permanentes estabelecidas antes e depois da exploração, o incremento em diâmetro foi considerado similar em ambas às intensidades de exploração com média de $0,37 \text{ cm.ano}^{-1}$ (CARVALHO et al. 2004). E, após 18 anos de monitoramento a taxa de crescimento média foi $0,30 \text{ cm.ano}^{-1}$ considerando a mesma classe de DAP indicando com isso a necessidade de intervenção silvicultural na área (COSTA et al. 2008).

Na Reserva Extrativista Terra Grande-Pracuúba, localizada na Ilha do Marajó, unidade de conservação que abrange os municípios de Curralinho e São Sebastião da Boa Vista, PA, o corte para o jatobá é permitido com diâmetro do fuste a partir de 120 cm, pois é proibida a extração de madeira nesta RESEX com diâmetro abaixo de 120 cm (ICMBio, 2013).

3.4. Dendrocronologia

A dendrocronologia é a ciência que estuda o histórico do lenho de árvores através dos seus anéis de crescimento. Amplamente definida como o estudo de padrões de crescimento anual em árvores e seu uso na datação de eventos passados. Portanto, os anéis de crescimento das árvores podem ser utilizados para estabelecer o período/ano em que eventos e até a própria morte da árvore ocorreram (FRITTS 1966; 1976), bem como, o efeito das variações ecológicas seja natural ou antropogênico (TOMAZELLO FILHO et al. 2001).

As árvores mostram uma reação às variáveis ambientais que influenciam os seus processos fisiológicos refletindo na atividade cambial e consequentemente na formação dos anéis de crescimento. Nas angiospermas (folhosas) a complexidade e a variação na formação das camadas de crescimento são maiores em virtude da constituição genética, das fases fenológicas e das condições ambientais (TOMAZELLO FILHO et al. 2001).

Toda árvore que produza os anéis de crescimento distinguíveis para a maioria dos anos, cujos anéis de crescimento possuam características que possam ser cruzadas e que tenha idade suficiente para fornecer o tempo necessário para uma determinada investigação pode ser utilizada para estudos dendrocronológicos (SCHWEINGRUBER et al. 1989).

3.4.1. A dendrocronologia em espécies tropicais

O desenvolvimento da pesquisa em dendrocronologia tropical desde o início do século passado pode ser dividido em seções sobrepostas como, o período de comprovação e descrição da natureza da periodicidade de crescimento nos trópicos; investigações sobre as relações crescimento-clima de árvores tropicais; fornecimento de informações sobre o crescimento e a dinâmica das florestas naturais (WORBES, 2002).

O anel de crescimento se traduz em uma marca identificável na madeira que demonstra mudança no crescimento da árvore. Importante para a compreensão da dinâmica da floresta (CECCANTINI et al. 2008).

Existem publicações que contestam a existência de anéis de crescimento anuais no xilema de árvores tropicais, pois a sazonalidade da temperatura é praticamente inexistente, no clima tropical. Porém, há evidência de anéis de crescimento anuais no xilema das árvores tropicais há mais de 100 anos, indicada através de métodos independentes, como dendrômetros e observação fenológica, datação de anéis de crescimento com radiocarbono (^{14}C), injúrias do câmbio, isótopos estáveis, relacionamento de séries temporais de anéis com parâmetros climáticos, todos estes, indicando que nas florestas de terra firme o crescimento é controlado pela sazonalidade da precipitação (CECCANTINI et al. 2008). A formação

anual dos anéis de crescimento foi confirmada para 230 espécies de árvores tropicais em continentes e zonas climáticas e estudos indicam que a expectativa de vida de espécies de árvores tropicais fica na média de 200 anos e somente poucas espécies vivem acima de 500 anos (BRIENEN et al. 2016).

A partir da largura dos anéis de crescimento é possível conseguir uma datação precisa, pois o crescimento da árvore é frequentemente afetado pelas variações climáticas e a seqüência anual de clima favorável e desfavorável (anos úmidos e secos ou quentes e frios) é fielmente registrada pela seqüência de anéis de crescimento largos e estreitos no lenho de uma grande quantidade de árvores. Os padrões de anéis largos e estreitos podem ser comparados entre as árvores para estabelecer o ano exato em que esses anéis foram formados (FRITTS, 1976).

A presença de anéis de crescimento no lenho do tronco em 48% das árvores das 491 espécies estudadas oriundas de diferentes regiões geográficas do Brasil revelou que o lenho das árvores de muitas espécies tropicais possui um marcador de crescimento (ALVES & ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000). Dentre as árvores das espécies tropicais as de *Cedrela* spp (Meliaceae) e de *Hymenaea courbaril* (Fabaceae) foram citadas como potenciais e importantes para os estudos dendrocronológicos, devido à sazonalidade da atividade cambial, ao comportamento fisiológico distinto e aos anéis de crescimento anuais devidamente demarcados no lenho das árvores (TOMAZELLO FILHO et al. 2001). Sendo os anéis de crescimento das árvores de *Cedrela* demarcados pela variação do tamanho dos vasos (CECCANTINI et al. 2008; CORADIN et al. 2010) ou individualizados por parênquima marginal (CORADIN et al. 2010) e nas de *Hymenaea* pela formação de um parênquima típico da margem de uma camada de crescimento, ou seja, parênquima marginal (KRIBS, 1959; TOMAZELLO FILHO et al. 1983; CECCANTINI et al. 2008; CORADIN et al. 2010).

Na literatura, existem trabalhos de dendrocronologia que avaliam as árvores das espécies de *C. odorata* e de *H. courbaril*, como LOCOSSELLI (2010) informa que a largura dos anéis de crescimento de *H. courbaril* sofre influência positiva da precipitação, e negativa da temperatura, no final da estação de crescimento. As árvores de *C. odorata* ocorrentes na floresta central do Peru são potenciais para os estudos dendrocronológicos e os anéis de crescimento relacionam-se com a

precipitação, principal responsável pela sazonalidade da atividade cambial (ESPINOZA et al. 2014).

É indispensável o envolvimento de novos pesquisadores do Brasil e do exterior para realização de pesquisas e troca de experiências, visando o desenvolvimento da dendrocronologia tropical, assim como a relação com outras ciências correlatas para ampliação das espécies potenciais no estudo dos anéis de crescimento (TOMAZELLO FILHO et al. 2000; 2001).

3.4.2. Manejo florestal e a dendrocronologia

A dendrocronologia se aplica na determinação da idade e do crescimento diamétrico do tronco das árvores, sendo importante ampliação desta ciência para árvores e sítios ainda não estudados. Ademais, a dendrocronologia de árvores de espécies tropicais e subtropicais tem sido útil em estudos correlacionando o seu crescimento e as mudanças climáticas contribuindo com resultados de aplicação direta ao manejo de florestas tropicais e subtropicais (MATTOS et al. 2011).

A variação de crescimento entre árvores da mesma espécie, considerando tamanho e idade, está relacionada à grande variação na disponibilidade de luz, água e nutrientes. As análises de crescimento em relação ao clima sugerem que o crescimento das árvores tropicais é moderadamente sensível à precipitação e à temperatura em que os anos secos e quentes reduzem o crescimento (BRIENEN et al. 2016).

A *C. odorata* foi uma das espécies estudadas na Amazônia boliviana, onde determinaram a idade ideal de corte, o ingresso e a distribuição nas classes diamétricas a partir da análise dos anéis, mostrando com isso o auxílio ao manejo de florestas tropicais. Ademais, as árvores da espécie demonstraram um bom potencial para o desenvolvimento de cronologias climáticas sensíveis e relativamente longevas (> 200 anos) (BRIENEN & ZUIDEMA, 2005; 2006a).

Em um estudo para a definição do ciclo de corte pela dendrocronologia para as árvores de *Cedrela odorata* na região de Cajamarca, San Ignacio, Peru, relatou-se que a espécie possui potencial dendrocronológico e que a partir dos métodos densitométricos e de medição direta dos anéis de crescimento definiram um ciclo de

corte de 113 anos, enfatizando também que a espécie tem as melhores possibilidades para um manejo florestal sustentável, pois é favorecida pelos fatores fisiológicos, ecológicos, dendrométricos, silviculturais e econômicos. Além de incentivarem uma maior investigação no manejo florestal da espécie (MONTALVO & POLLITO, 2014).

A dinâmica do crescimento do tronco das árvores das espécies de uma floresta corresponde ao conhecimento mínimo necessário para o planejamento do manejo sustentável e o incremento é o reflexo da interação árvore x espécie x ambiente e varia regionalmente e ainda se faz necessária a geração de informações referentes ao ciclo ou intensidade de corte (MATTOS et al. 2011).

A aplicação de dados de anéis de crescimento das árvores para definir opções de manejo para espécies tropicais não é recente. Todavia, para a modelagem do crescimento do tronco das árvores sua aplicação não é comum nas árvores das florestas tropicais. Uma das maiores dificuldades para a gestão ecologicamente sustentável das florestas tropicais é a obtenção de dados de crescimento do tronco das árvores confiáveis, o que é um pré-requisito para determinar o volume do lenho na colheita e definição dos ciclos de corte. As diferenças nas taxas de crescimento do tronco das árvores entre as espécies tropicais não são consideradas nas práticas atuais de manejo, as quais aplicam um diâmetro do tronco e ciclo de corte para o corte das árvores de diversas espécies. O Growth-Oriented Logging - GOL é o primeiro conceito de manejo sustentável de recursos madeireiros tropicais em várzea, baseado em critérios de manejo específicos de espécies, como diâmetros do tronco mínimos de corte e ciclos de corte e foi adaptado para a dinâmica da sucessão natural e é uma abordagem para um maior grau de sustentabilidade na gestão de florestas tropicais considerando a estrutura da população e os incrementos de madeira das árvores de baixa e alta densidade (SCHÖNGART, 2008).

Para as árvores das espécies de *Hymenaea courbaril* e de *Handroanthus serratifolius* oriundas do município de Novo Aripuanã, AM foram estabelecidos modelos de crescimento do tronco pelos anéis de crescimento para a definição de diâmetro mínimo de corte (DMC) e ciclo de corte (CC) utilizando a metodologia Growth-Oriented Logging - GOL. Os resultados para o ciclo de corte apresentaram

valores condizentes com o previsto pela legislação vigente, com pouca diferença entre as árvores das duas espécies com 24,5 anos para as de *H. courbaril* e de 26,5 anos para as de *H. serratifolius*, em contrapartida o diâmetro do tronco mínimo de corte ficou acima do previsto pela legislação com 62,6 cm para as árvores de *H. courbaril* com idade de 150 anos e de 67,4 cm com idade de 174 para as de *H. serratifolius* (ANDRADE, 2015).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área experimental - Localização e caracterização da Floresta Nacional do Tapajós

A Floresta Nacional do Tapajós, FLONA Tapajós, foi criada em fevereiro de 1974 pelo Decreto nº 73.684 compreendendo uma área aproximada de 600.000 ha, alterada pela Lei Federal nº 12.678 de junho de 2012 para uma área de 527.319 ha, abrangendo os municípios de Aveiro, Rurópolis, Placas e Belterra no estado do Pará (ICMBio, 2012). Os seus limites são: ao Norte, o município de Belterra, ao Sul o de Rurópolis, a Oeste o rio Tapajós e a Leste a BR-163 (Santarém-Cuiabá) (PEREIRA JÚNIOR, 2006), nas coordenadas de 2°45' - 4°10'S e 54°45' - 55°30'W, sendo a 13ª Floresta Nacional do país e a 2ª do estado do Pará e na região Norte (IBAMA, 2004) (Figura 5).

A unidade de conservação localiza-se em uma região de confluência de interesses diversos, como a exploração de riquezas naturais; a expansão da fronteira agrícola; e o asfaltamento da BR-163, fatos que podem afetar a manutenção da sua integridade e os objetivos sócio-ambientais e econômicos, com o desdobramento dos impactos na população residente e vizinha. Diante disso, surgiu o Projeto Manejo na Floresta Nacional do Tapajós para a Produção Sustentada de Madeira Industrial denominado, posteriormente, de Projeto Tapajós, com o objetivo de avaliar a sustentabilidade das florestas do país e mitigar os impactos (PEREIRA JÚNIOR, 2006). Com o Projeto Tapajós foram iniciadas as atividades de manejo florestal da FLONA do Tapajós, culminando com a criação do Projeto Ambé em 2005, no âmbito do Projeto de Apoio ao Manejo Florestal Sustentável na Amazônia-ProManejo/IBAMA, administrado pelos moradores-comunitários da FLONA reunidos na Cooperativa Mista Flona Tapajós - COOMFLONA. O Projeto Ambé, como manejo florestal comunitário de baixo impacto, prevê a exploração sustentável de madeira em 32.586,56 ha, dividida em duas subáreas, Samambaia e Anambé, com 13.591,69 ha e 18.994,87 ha, respectivamente (PROJETO AMBÉ, 2010) (Figura 7). A intensidade de corte não ultrapassa 30 m³.ha⁻¹, conforme a legislação vigente, com equação de volume específica para a sua área de manejo a qual é reajustada anualmente e com ciclo de

corte de 30 anos. A legislação vigente especifica o diâmetro mínimo de corte (DMC) a partir de 50 cm. Entretanto, para a espécie *Hymenaea courbaril*, o Ambé adota o DMC a partir de 70 cm (POA 2013; POA 2015), devido ao maior aproveitamento do cerne.

Atualmente, o projeto executa as atividades de manejo florestal pré-exploratórias, exploratórias com a participação de mais de 200 cooperados, além de pessoal terceirizado. Na exploração madeireira, conforme a autorização para exploração, são utilizadas árvores de vinte e quatro espécies, que são *Hymenolobium petraeum*, *Cedrelinga catenaeformis*, *Terminalia* spp., *Dipteryx odorata*, *Goupia glabra*, *Vatairea paraensis*, *Cordia goeldiana*, *Apuleia molaris*, *Pouteria bilocularis*, *Tabebuia serratifolia*, *Tabebuia incana*, *Mezilaurus itauba*, *Lecythis lurida*, *Hymenaea parvifolia*, *Manilkara huberi*, *Astronium lecontei*, *Vochysia maxima*, *Lecythis pisonis*, *Diploptropis purpurea*, *Bagassa guianensis*, *Couratari guianensis*, *Pseudopiptadenia psilostachya*, incluindo as de *Cedrela odorata* e de *Hymenaea courbaril* (Figura 6).

A FLONA Tapajós, pela sua existência, às suas características ambientais, ecológicas e facilidade de acesso terrestre/fluvial a sua área, sempre foi selecionada pelos pesquisadores de diversas áreas. E assim, pesquisas acerca da dendrocronologia foram apenas introduzidas na área ou nas proximidades, como o estudo do potencial dendrocronológico de 25 espécies correspondentes às famílias Anacardiaceae, Araliaceae, Bignoniaceae, Hypericaceae, Lauraceae, Malvaceae, Meliaceae, Myristicaceae, Sapotaceae e Simaroubaceae com destaque para as famílias Fabaceae e Lecythidaceae (TREVIZOR et al. 2015); o estudo preliminar da anuidade da formação dos anéis de crescimento de sete espécies da área de plantação experimental de 28 anos da Embrapa Amazônia Oriental, em Belterra, PA (MOUTINHO et al. 2015) e o estudo dendrocronológico de árvores de *Cedrela odorata* L. da FLONA Tapajós e de áreas de capoeira próximas a rodovia BR-163 (CHAGAS et al. 2015).

4.2. Características da vegetação

A Floresta Nacional do Tapajós é uma floresta de terra firme classificada como Floresta Ombrófila Densa (VELOSO et al. 1991). DUBOIS (1976) a classificou em 6 grandes tipos - floresta alta com babaçu (*Orbignya speciosa*); floresta alta sem babaçu; complexo de florestas baixas; complexo de florestas cipoálicas e cipoal; florestas inundadas; e capoeiras- e diversos subtipos.

A classificação da cobertura vegetal da região norte da FLONA Tapajós, pelas imagens-fração do sensor TM/Landsat-5, considerando a vegetação, solo e sombra, indica 7 grupos de cobertura: floresta primária; floresta secundária em estágio inicial de regeneração (4 anos); regeneração (9 anos); mata ciliar; pastagem; solo exposto e água. A floresta primária constitui-se no maior grupo (tipo alto e baixo platô) e com elevada frequência de plantas de babaçu na região norte da FLONA (VERONA & SHIMABUKURO, 2005).

Figura 5. Localização da Floresta Nacional do Tapajós (Fonte: ICMBio, 2012)

Figura 6. Árvores de (A) *Hymenaea courbaril* e de (B) *Cedrela odorata* da área de manejo florestal do Projeto Ambé

4.3. Características do clima e do solo

O clima é tropical úmido, classificado como Ami pelo sistema de Köppen com variação térmica anual inferior a 5°C. A temperatura média anual é de 25,5°C, a mínima de 18,4° - 21°C e a máxima de 30,6°- 32,6°C. A precipitação média anual é de 1.820 mm, podendo atingir 2.000 mm; em Belterra a média anual de chuvas é de 2.110 mm, maior de março-maio e de uma estação seca de agosto-novembro. A umidade relativa do ar é de 86% (76 - 93%) (CARVALHO, 2001; IBAMA, 2004). Os solos predominantes são os latossolos amarelo distróficos, profundos e com baixa capacidade de troca catiônica (IBAMA, 2004). Esta classe de solo, caracterizada por apresentar solos profundos e envelhecidos, ácidos a fortemente ácidos e de boa drenagem, apesar de algumas vezes serem bastante argilosos, devido variação do teor de argila passam a ser caracterizados como de textura média, argilosa e muito argilosa. São de maior ocorrência na Amazônia e encontrados sob vegetação de florestas densa, aberta e mista com palmeiras, principalmente babaçu (*Orbignya sp*) e de campo cerrado, frequentemente em relevo plano a suave ondulado, podendo ocorrer em relevo ondulado (VIEIRA, 1988).

Figura 7. Mapa de Zoneamento da Floresta Nacional do Tapajós - Localização das áreas de manejo florestal do Projeto Ambé (fonte: IBAMA/ICMBio, 2004)

4.4. Localização e coleta das amostras do lenho das árvores

As árvores de *Hymenaea courbaril* e *Cedrela odorata* foram selecionadas com base nos dados do inventário florestal 100% realizado na área, considerando os valores do diâmetro a altura do peito (DAP), disponibilidade para amostragem e localização na área de exploração. Para *Cedrela* foram selecionadas e coletadas vinte árvores, mas somente quinze árvores foram utilizadas na pesquisa. Nas Tabelas 1 e 2 constam as informações sobre a quantidade da amostragem e

identificação das árvores, assim como os dados utilizados na modelagem de crescimento.

Tabela 1. Quantidade, identificação e dados de diâmetro e altura das árvores de *Cedrela odorata*.

Nº da árvore	Nº inventário	Diâmetro da base* (cm)	Altura total comercial** (m)
1	42	81,0	19
2	812	79,0	16
3	509	81,0	21
4	1271	77,5	17
5	814	84,5	21
6	59	82,5	19
7	1809	73,5	20
8	1337	83,5	19
9	2301	73,5	18
10	1541	62,0	18
11	359	60,5	18
12	2278	56,5	19
13	1932	61,0	18
14	1195	77,0	23
15	596	55,0	14
16	287	55,0	19
17	359_2	67,0	17
18	1654	88,0	20
19	1686	50,0	23
20	1957	87,0	12

* ** Dados obtidos na atividade de cubagem das toras (romaneio) no pátio de arraste e armazenamento das toras, local e momento da retirada das amostras.

Tabela 2. Quantidade, identificação e dados de diâmetro e altura das árvores de *Hymenaea courbaril*.

Nº da árvore	Nº inventário	Diâmetro da base* (cm)	Altura total comercial** (m)
1	64	95,0	29
2	150	104,0	30
3	300	94,0	32
4	407	120,0	28
5	408	121,0	27
6	607	78,5	27
7	763	90,0	25
8	807	88,5	28
9	965	110,0	33
10	1024	108,5	30
11	1027	81,5	31
12	1027_2	86,5	27
13	1073	86,0	29
14	1188	121,0	25
15	1239	99,5	23
16	1372	93,5	29
17	1571	82,0	24
18	1706	91,0	27
19	1712	103,5	28
20	1785	114,0	32
21	1942	127,0	30
22	1944	75,5	25
23	1953	84,5	29
24	2258	117,5	27
25	886	85,0	29
26	1194	73,0	32
27	1300	89,0	31
28	1532	109,0	31
29	1662	79,5	29
30	1809	94,5	29
31	1992	67,5	32
32	2070	106,0	34
33	2217	71,0	33
34	113	78,5	19
35	894	103,5	28
36	1017	114,0	35
37	1288	89,5	26
38	228	69,9	27
39	737	68,0	30
40	812	70,0	25

* ** Dados obtidos na atividade de cubagem das toras (romaneio) no pátio de arraste e armazenamento das toras, local e momento da retirada das amostras.

As amostras das seções transversais do lenho do fuste das árvores foram coletadas na área de manejo florestal do Projeto Ambé (Figura 8), nas Unidades de Produção Anual (UPAs) nº8, que possui 1.000 ha, com 298 árvores de *Hymenaea* e 20 de *Cedrela* selecionadas para a colheita na área, localizada nas coordenadas de 02°50'50,8" S e 54°54'40,9" W, na altura do Km-57 da rodovia BR-163, com acesso pelo Km-67 (Figura 9) e nº10, que possui 1.551,880 ha, com 275 árvores de *Hymenaea* e 23 de *Cedrela* selecionadas para a colheita na área, localizada nas coordenadas de 03°21'23,8" S e de 54°56'59,1" W, na altura do Km-117 da rodovia BR-163 (Figura 10).

Foram seccionadas, durante a atividade de cubagem das toras (romaneio) no pátio de arraste e armazenamento das toras (Figura 11 A, B, C, D, E, F). E, transportadas do município de Santarém, PA para o de Piracicaba, SP e depositados no Laboratório de Anatomia, Identificação da Madeira e Dendrocronologia do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

Figura 8. Mapa de localização dos tocos das árvores na área de manejo florestal do Projeto Ambé (elaboração: Engº Ftal Lucian Gomes de Oliveira, 2018)

Figura 9. Mapa de localização geográfica dos tocos das árvores na área de manejo florestal Samambaia do Projeto Ambé (UPA 8) (elaboração: Engº Ftal Lucian Gomes de Oliveira, 2018)

Figura 10. Mapa de localização geográfica dos tocos das árvores na área de manejo florestal Anambé do Projeto Ambé (UPA 10) (elaboração: Engº Ftal Lucian Gomes de Oliveira, 2018)

Figura 11. Corte das amostras do lenho das árvores no pátio de arraste da área de manejo Anambé. (A, B) atividade de cubagem (romaneio) e seccionamento das toras; (C, E) corte do disco do lenho de árvores de *H. courbaril* e (D, F) de *C. odorata*

4.5. Usinagem e polimento da seção transversal das amostras do lenho das árvores

O procedimento de usinagem foi aplicado para a homogeneização da superfície da seção transversal das amostras das árvores de *H. courbaril* que apresentaram imperfeições e desníveis na sua superfície no processo de corte com a motosserra, bem como pela sua dimensão (Figura 12 A). A superfície transversal do lenho do fuste foi usinada em torno mecânico vertical, com mesa circular de 2,3 m de raio de 4 engates para a sua fixação. A usinagem da superfície foi feita com uma ferramenta específica (formato ponta de lança, denominada “pit”) (Figura 12 B, C) e compreendeu duas fases, sendo a primeira no desbaste da superfície do lenho,

seguida do seu acabamento (Figura 12 D - H). Na fase de desbaste da superfície do lenho o torno mecânico operou em baixa rotação (16 rpm) no sentido anti-horário e direção casca-medula, sendo mais longa e dependente da irregularidade da superfície da amostra, notando-se uma significativa redução da sua espessura (30-45 mm). Na fase de acabamento, de menor tempo, aplicou-se maior rotação (30 rpm) no sentido anti-horário e direção casca-medula, com menor redução da espessura (2-5 mm).

O procedimento de polimento foi realizado em uma das faces da seção transversal das amostras das árvores para o contraste e visualização dos anéis de crescimento. As amostras de lenho foram polidas, em uma 1ª etapa, com lixadeira manual GWS 21-230 (lixa de granulometria 30 e 50) para a regularização da sua superfície (Figura 13 A, B) e, em seguida, com lixadeira de cinta em algumas amostras de dimensões menores (lixa de granulometria 80 e 120) (Figura 13 C, D), complementando com lixadeira manual com aspirador para *Cedrela* e lixadeira orbital para *Hymenaea* (lixa de granulometria de 80 a 600) (Figura 13 E, F). As amostras do lenho das árvores de *H. courbaril* submetidas ao processo de usinagem foram, na sequência, polidas com lixadeira orbital (lixa de granulometria de 80 a 600) (Figura 13 E).

Figura 12. Usinagem da seção transversal das amostras de lenho de *H. courbaril*. (A) amostra de lenho original com irregularidades; (B, C) torno mecânico vertical com mesa, engates e ferramenta; (D) amostra do lenho antes da usinagem; (E) fases do desbaste; (F) nivelamento; (G) verificação da espessura e (H) acabamento e após a usinagem

Figura 13. Polimento da seção transversal das amostras de lenho de *C. odorata* e de *H. courbaril*. (A, B) desengrosso para a regularização da superfície (lixadeira manual, lixas de granulometria 30 e 50); (C, D) polimento (lixadeira de cinta, lixas de granulometria 80 e 120); (E, F) polimento (lixadeira manual orbital e com aspirador (lixas de granulometria 80 a 600)

4.6. Identificação, demarcação e mensuração dos anéis de crescimento

A superfície polida da seção transversal das amostras do lenho das árvores foi examinada à olho nu e com lupa de 10x para a identificação e demarcação do limite dos anéis de crescimento (Figura 15 A, B), pela delimitação de 2 a 4 raios/amostra do lenho, de acordo com as normas e métodos dendrocronológicos, como as amostras foram retiradas da base da árvore, tomou-se o cuidado na escolha da área da amostra para a demarcação dos raios, evitando as partes mais alongadas, excêntricas, com lenho de reação, ou seja, com deformidades/anomalias, de acordo com (SCHWEINGRUBER et al. 1989), para não ocasionar diferenças abruptas na largura dos anéis entre os raios, como também retratar o crescimento real da árvore (Figura 14 A, B). Neste procedimento laboratorial foi feita a contagem do número de anéis de crescimento/raio analisados, distinção dos anéis de crescimento verdadeiros, dos falsos anéis, dos ausentes e dos descontínuos (IAWA COMMITTEE, 1989; WORBES, 2004), sendo que os anéis ausentes foram detectados com maior eficiência durante a mensuração. Em seguida, procedeu-se à digitalização da seção transversal do lenho das árvores, na região dos raios demarcados/amostra do lenho – com a delimitação dos anéis de crescimento – na resolução de 1200 dpi (escaner Epson Perfection V750 PRO) (Figura 15 C, D, E, F). Seguiu-se ao procedimento de mensuração da largura dos anéis de crescimento/raio das amostras do lenho com o software Image Pro Plus (precisão 0,01mm) no sentido medula - casca (Figura 16 A, B).

Figura 14. Imagens das seções transversais das espécies com as áreas de demarcação dos anéis de crescimento. (A) *C. odorata*; (B) *H. courbaril*

Figura 15. Identificação, demarcação e digitalização dos anéis de crescimento de *C. odorata* e *H. courbaril*. (A, B) identificação, demarcação dos anéis de crescimento (10x); (C, D, E, F) disposição do equipamento e digitalização dos anéis de crescimento/raio/espécie

Figura 16. Mensuração da largura dos anéis de crescimento na seção transversal com o software Image Pro Plus. (A) *C. odorata*; (B) *H. courbaril*

4.7. Anatomia dos anéis de crescimento do lenho das árvores

A caracterização qualitativa da anatomia macroscópica dos anéis de crescimento das árvores foi realizada de acordo com as normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira (IAWA COMMITTEE, 1989; CORADIN & BOLZON, 1991).

De cada espécie estudada foram selecionadas 5 árvores (Figura 17 A, B) para retirada das amostras (dimensões 1,5 x 2,0 x 3,0 cm) para a macroscopia. As árvores foram escolhidas durante a demarcação dos anéis de crescimento, onde no momento também foram identificados e localizados os falsos anéis e anéis com canais de resina, sendo este último na *Cedrela*.

Foram retirados cortes histológicos no sentido transversal em micrótomo Leica (Figura 18A) para a montagem de lâminas semipermanentes. As imagens macroscópicas dos anéis foram obtidas com uso do microscópio Axio Vision SE64 Rel. 4.9.1 SP2 (10-2015) com câmera acoplada (Figura 18B).

Figura 17. Imagens das árvores/raios selecionadas para a amostragem macroscópica dos anéis de crescimento das espécies. (A) *Cedrela odorata*; (B) *Hymenaea courbaril*

Figura 18. Equipamentos para análise macroscópica dos anéis de crescimento das espécies. (A) Micrótomo para os cortes histológicos; (B) Microscópio com câmera para imagens macroscópicas

4.8. Análises dendrocronológicas aplicadas no estudo do lenho das árvores

Durante o processo de identificação e demarcação dos anéis de crescimento, apenas da espécie *C. odorata* foram excluídas 5 amostras do total de 20 árvores, devido às condições do material para a demarcação dos raios e anéis, optou-se pela exclusão, totalizando 15 árvores para os estudos dendrocronológicos.

Foram demarcados de 2 a 4 raios/árvore, no decorrer do processo de mensuração foram selecionados e trabalhados 2 raios/árvore para cada espécie, sendo 30 raios para *Cedrela* e 80 raios para *Hymenaea*.

4.8.1. Construção das séries de largura dos anéis de crescimento e o procedimento de datação cruzada

A partir da mensuração dos anéis das espécies pelo software Image Pro Plus, as séries de largura obtidas foram trabalhadas primeiramente em planilhas no software Excel para um ajuste dos dados entre raios (sincronização) de uma mesma árvore, sendo uma primeira análise de correlação no indivíduo.

Posteriormente, os dados foram trabalhados para o formato Tucson pelo software FMT, o qual gerou um arquivo com extensão .txt (Figura 19). Foram

gerados vários arquivos, primeiramente raios/árvore, raios/grupos de árvores e raios/todas as árvores para cada espécie.

J300R2	1865	1188	917	750	833	792					
J300R2	1870	1104	813	646	792	1750	1563	458	792	1167	1417
J300R2	1880	2646	1458	1375	1771	2604	1771	1396	2688	2646	1021
J300R2	1890	729	1500	1833	2400	710	690	1068	1151	2499	2605
J300R2	1900	2781	778	3617	2631	2891	1980	1603	1898	3206	2192
J300R2	1910	2649	2616	1716	2181	2390	1827	734	3207	5025	5199
J300R2	1920	4001	3039	3137	3203	693	2202	2763	2749	2101	1856
J300R2	1930	1850	4078	4517	3576	3118	4130	3767	6634	5232	7975
J300R2	1940	6032	4285	4845	5327	4599	5801	5799	8378	4940	1896
J300R2	1950	3167	3429	1464	3097	3263	5968	8348	5265	5400	3037
J300R2	1960	4068	6113	5476	6681	1566	3380	1354	979	1396	1583
J300R2	1970	5417	6923	7438	1833	1854	667	3294	5396	6104	3667
J300R2	1980	1875	1417	1667	792	3521	7021	3375	1625	3500	2333
J300R2	1990	1188	4313	4571	5032	813	4009	4483	3981	7158	5204
J300R2	2000	4734	5250	2563	2063	3146	2958	2354	2271	1000	1396
J300R2	2010	2042	854	1146	1271	1000	-9999				
J300R3	1865	1054	1083	1208	1104	646					
J300R3	1870	1625	1146	1042	1021	1008	1173	796	1947	778	1377
J300R3	1880	2464	1483	1209	1659	2182	1627	1524	2378	1877	2295
J300R3	1890	1918	1983	1936	1662	908	1326	1995	1470	3018	3479
J300R3	1900	2492	778	4287	3056	3120	2853	1930	1827	2561	2814
J300R3	1910	1473	2631	1644	2652	3000	1507	587	2669	3545	3829
J300R3	1920	2428	2952	2595	3344	398	2384	3260	3137	3007	2303
J300R3	1930	1696	4685	4516	3490	2795	4652	5623	5657	3058	5388
J300R3	1940	4267	4878	4857	5197	5156	6120	4884	6606	4354	1354
J300R3	1950	3212	4024	2396	4965	2867	4035	3717	2917	5421	3774
J300R3	1960	4717	4265	4644	4322	1798	2411	1323	1199	1339	1796
J300R3	1970	6725	8937	6843	1229	2000	521	2521	5896	4229	2063
J300R3	1980	2083	2688	2604	833	2313	4188	5604	1783	2917	2063
J300R3	1990	2438	4378	4097	3837	923	2441	5967	7337	6123	3987
J300R3	2000	4063	3238	1559	1453	2387	2913	1128	2766	814	1566
J300R3	2010	1467	2052	707	1148	1835	-9999				

Figura 19. Formato denominado Tucson dos dados de largura dos anéis de crescimento (ex. raios/árvore) pelo software FMT para as espécies

Após a transformação dos dados de largura dos anéis de crescimento das espécies para o formato supracitado foi realizado o controle de qualidade dos anéis de crescimento pela sincronização pelo software Cofecha (HOLMES, 1983) para cada espécie, primeiramente raios/árvore, raios/grupos de árvores e raios/todas as árvores. O programa verificou a acurácia da mensuração das séries de largura dos anéis de crescimento e a qualidade do processo de datação cruzada identificando os padrões de crescimento com a construção das séries cronológicas (GRISSINO-MAYER, 2001), obtendo a melhor correlação e definindo a série mestre para cada espécie.

Considerando a idade das amostras das espécies, optou-se pela análise com largura de 50 anos com deslocamento a cada 25 anos para cada segmento de dados de anéis de crescimento. De acordo com a escolha pela análise, o nível crítico foi de 0,3281 com nível de significância de 0,01. O programa utiliza a

estatística paramétrica quantitativa com o coeficiente de correlação de Pearson (r) e elabora ao final da análise vários produtos, dentre eles destacamos o coeficiente de intercorrelação e a média de sensibilidade.

4.8.2. Correlação dos anéis de crescimento do lenho das árvores com as variáveis climáticas

A partir da definição da série mestre para cada espécie foi utilizado o software Arstan. O programa produz cronologias por dupla retirada da tendência “detrending” a partir das séries dos anéis de crescimento, por meio de sua padronização, aplicando uma estimativa robusta da função de valor médio para remover os efeitos de distúrbios endógenos. É uma modelagem autorregressiva de séries indexadas que aprimora o sinal comum, sendo uma análise estatística extensiva de um intervalo de tempo comum que caracteriza um conjunto de dados. São produzidas três versões da cronologia standard, residual e arstan destinadas a conter um sinal comum máximo e uma quantidade mínima de ruído (COOK & HOLMES, 1995). A remoção das tendências (efeito da idade, biológicas do crescimento, etc.) foi realizada, conforme FRITTS (1976), com os dados da espessura dos anéis de crescimento (série mestre) das espécies padronizados e transformados em índices, a partir da média das variações individuais, deixando apenas as variações que correspondem ao ambiente (Figura 20).

Figura 20. Dados de largura dos anéis (gráfico acima) e índice dos anéis de crescimento (gráfico abaixo) após a remoção das tendências (ex. primeira árvore de *H. courbaril* que compõe a cronologia)

Para a execução do programa Arstan para as espécies foi utilizada uma curva spline de 60%, considerando a variação do tamanho das amostras, a função spline é considerada flexível, pois analisa primeiro os dados originais acompanhando as flutuações dos anéis nas árvores mais velhas e nas mais jovens para fazer a modelagem, e finalmente, sendo obtidas três versões da cronologia a standard, a residual e a arstan, utilizou-se a standard para a realização das correlações com o clima para ambas as espécies.

A partir da obtenção das séries cronológicas (cronologias) para as espécies foi procedida a sua correlação com as variáveis climáticas locais (precipitação, temperatura máxima e mínima) obtidas na estação meteorológica do município de Belterra, PA pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1972 – 2015, período registrado pela estação (Figura 21).

Figura 21. Dados climáticos de precipitação mensal acumulada e temperatura média para o município de Belterra, PA (INMET, 2016)

4.8.3. Construção das curvas de crescimento do lenho das árvores pelos anéis de crescimento

Antecedendo a construção das curvas de crescimento, foi realizada a estimativa dos anéis próximos a medula para todas as amostras de *Hymenaea*, devido a dificuldade de definição e mensuração dos anéis nesta região, como também das amostras sem medula. Para *Cedrela* a estimativa foi realizada apenas nas amostras sem medula. A metodologia seguida foi a desenvolvida por HIETZ (2011) e utilizada com sucesso com a espécie *Aspidosperma polyneuron* por GODOY-VEIGA et al. (2018) em que consistiu na medição do espaço, seguindo o sentido do raio, entre o primeiro anel mensurado até a possível posição da medula, onde este valor obtido foi dividido pela média dos dez primeiros anéis (anos) resultando na quantidade de anéis respectivos a esta área. A idade para cada árvore foi indicada pela contagem dos anéis de crescimento.

Para a modelagem do crescimento pelos anéis foi aplicado o método Growth-Oriented Logging (GOL) desenvolvido por SCHÖNGART (2008) o qual baseia-se em uma nova forma de manejo florestal utilizando o volume do lenho acumulado do tronco das árvores de espécies tropicais, especificamente para cada espécie e com definição de diâmetro e ciclo de corte.

Para isso, foram construídas curvas cumulativas diamétrais por árvore para cada espécie, tendo como base as medições do incremento radial corrente, e, as mesmas, foram relacionadas com o diâmetro medido em campo (SCHÖNGART et al. 2007). O diâmetro utilizado foi o da base do fuste, obtido no momento da cubagem das toras, a opção por utilizar este diâmetro, deu-se pela amostragem utilizada ser da base, além do uso de dados reais e respectivos ao material. Com a elaboração das curvas individuais, curvas cumulativas médias foram construídas para cada espécie, sendo indicada a partir daí a relação diâmetro e idade. Na análise do crescimento em diâmetro, a relação das variáveis diâmetro e idade das árvores foi definida por regressão não linear, onde foram gerados os parâmetros observados na **Equação (1)** por SCHÖNGART (2008).

Equação (1)
$$d = \frac{a}{(1 + (\frac{b}{idade})^c)}$$

Onde:

d – diâmetro da base do fuste (cm);

a, b, c – parâmetros obtidos no ajuste da regressão não linear.

A partir da equação foi gerado um diâmetro respectivo a cada idade para os indivíduos das espécies. A relação entre diâmetro e idade possibilitou construir curvas de incremento corrente e médio em diâmetro em função da idade para cada espécie (**Equações 4, 5**).

Foi utilizado também um modelo de regressão não linear, o qual gerou os parâmetros da **Equação (2)** por SCHÖNGART (2008), como também foi empregado para a relação do diâmetro medido em campo e altura total comercial do fuste das árvores, valor este obtido durante a atividade de cubagem das toras. Foi preferível utilizá-lo com o objetivo de usar dados reais mensuráveis para evitar superestimativas de valores na modelagem, permitindo com isso a definição da relação altura e idade.

Equação (2)
$$h = \frac{d \times e}{(d+f)}$$

Onde:

h – altura total comercial do fuste em (m);

e, f – coeficientes obtidos no ajuste da regressão não linear;

d – diâmetro da base do fuste (cm).

A partir da equação foi constituída uma altura respectiva a cada idade para as espécies, o diâmetro utilizado foi o obtido na **Equação (1)**. A relação entre diâmetro e altura possibilitou construir curvas de incremento corrente e médio em altura em função da idade para cada espécie (**Equações 4, 5**).

Os modelos de crescimento em diâmetro e altura foram ajustados pelo software *Xact* (SciLab) e averiguados pelo coeficiente de correlação de Pearson.

A área basal foi calculada para as espécies, pela **Equação (3)**. A partir da equação foi gerada uma área basal respectiva a cada idade para as espécies, o diâmetro utilizado foi o obtido na **Equação (1)**. Foram construídas curvas de incremento corrente e médio em área basal em função da idade para cada espécie (**Equações 4, 5**).

Equação (3)
$$Ab = \pi \times \left(\frac{DAP}{2}\right)^2$$

Onde:

Ab – área basal (cm²);

DAP – diâmetro da base do fuste (cm).

O volume das espécies foi calculado a partir dos modelos volumétricos (Tabela 3), sendo um específico para *H. courbaril* para a área da FLONA Tapajós testado primeiramente por SILVA et al. (1984) e validado por RIBEIRO et al. (2014) e o outro para a área de manejo florestal do Projeto Ambé, FLONA do Tapajós validado por RIBEIRO et al. (2014) que foi utilizado para *C. odorata*.

Tabela 3. Modelos volumétricos utilizados para estimar o volume das espécies.

Espécie	Modelo	Autor
<i>C. odorata</i>	$\ln(V) = -7,9655227 + 1,7928151 \cdot \ln(D) + 0,5934104 \cdot \ln(H)$	Schumacher – Hall logarítmizado
<i>H. courbaril</i>	$\ln(V) = -7,2142005 + 1,7797146 \cdot \ln(D) + 0,4486902 \cdot \ln(H)$	

V = volume comercial com casca, em m³; D = diâmetro à altura de 1,30 m, (DAP) em cm; H = altura comercial, em m; $\ln()$ logaritmo neperiano.

A partir dos modelos volumétricos utilizados foi constituído um volume respectivo a cada idade para as espécies, o diâmetro e a altura utilizados foram os obtidos na **Equação (1)** e **Equação (2)**, respectivamente. Foram construídas curvas de incremento corrente e médio em volume em função da idade para cada espécie (**Equações 4, 5**).

O valor do incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) do lenho do fuste das árvores foi obtido a partir do crescimento cumulativo (CrC) nos diferentes anos (t) (**Equações 4, 5**) (SCHÖNGART et al. 2007).

$$\text{Equação (4)} \quad \dots\dots\dots ICA = CrC_{(t+1)} - CrC_t$$

Onde:

ICA – incremento corrente anual em diâmetro, em altura total, em área basal e em volume do fuste;

CrC – crescimento cumulativo do fuste nos diferentes anos;

t – idade da árvore.

Equação (5) $IMA = \frac{CrC_t}{t}$

Onde:

IMA – incremento médio anual em diâmetro, em altura total, em área basal e em volume do fuste;

CrC – crescimento cumulativo até uma determinada idade t;

t – idade da árvore.

4.8.4. Ciclo de corte e diâmetro mínimo das árvores pelos anéis de crescimento (manejo florestal)

O diâmetro mínimo de corte (DMC), período ideal de corte, foi definido para as espécies pela idade com a taxa máxima de incremento corrente em volume obtido pela **Equação (4)**, sendo o volume constituído pelos modelos volumétricos citados anteriormente. Este período representa o potencial de crescimento máximo das espécies para a extração madeireira (SCHÖNGART, 2008). Após o valor do DMC determinou-se, em seguida, o ciclo de corte pela **Equação (6)** para ambas as espécies, o qual corresponde ao tempo médio de passagem pelas classes de cada 10 cm de diâmetro até atingir o seu DMC (SCHÖNGART, 2008).

Equação (6) $CC = \frac{idade_{(DMC)}}{DMC \times 0,1}$

Onde:

CC – ciclo de corte das árvores (anos);

DMC – diâmetro mínimo de corte (cm);

0,1 – classes de diâmetro de 10 cm.

5. RESULTADOS

5.1. Anatomia dos anéis de crescimento do lenho das árvores

A análise da estrutura anatômica macroscópica dos anéis de crescimento das espécies *C. odorata* e *H. courbaril* indicou que são distintos, visíveis à olho nu, possibilitando a sua demarcação e contagem.

Os anéis de crescimento de *C. odorata* são demarcados pela diferença gradual do diâmetro dos vasos (poros) e sua frequência e também delimitados pelo parênquima marginal. Os poros maiores ficam mais próximos a linha do parênquima marginal e os menores são observados na sequência do anel. Os anéis de crescimento falsos foram observados e caracterizados pela presença de faixa de parênquima marginal que pode ou não confluir com os elementos de vaso que segue paralelamente ao anel verdadeiro até determinado ponto na seção transversal. Canais de resina de origem traumática foram observados na espécie e podem estar associados aos anéis verdadeiros, como também aos falsos anéis, se caracterizam por seguirem na linha do parênquima marginal (Figura 22).

H. courbaril apresenta anéis demarcados pela presença do parênquima marginal (Figura 23). Nas amostras da espécie, à medida que os anéis de crescimento ficavam mais próximos à medula, a dificuldade de distinção dos mesmos aumentava, devido ao seu estreitamento. Esse cenário não inviabilizou a demarcação, que passou a ser realizada a partir da distinção e acompanhamento dos anéis, a uma distância média da medula de 3 a 5 cm. Foram observados falsos anéis, ausentes e descontínuos na espécie. Os falsos anéis foram caracterizados pela confluência do parênquima aliforme (envolve os vasos) formando uma faixa fina próxima ao anel verdadeiro, e também pela formação de uma faixa de parênquima marginal que acompanha e é próxima ao anel verdadeiro que pode fundir-se a ele ou não em determinado ponto da seção transversal (Figura 23). Os anéis descontínuos têm a característica de se ocultar e reaparecer ao longo de toda a seção transversal da amostra e são bem finos.

Enquanto que, os ausentes aparecem em determinada parte da seção transversal e depois desaparecem.

A identificação dos falsos anéis nas espécies foi possibilitada pelo acompanhamento da continuidade dos anéis ao longo da seção transversal das amostras do lenho. Assim como, dos anéis descontínuos em *Hymenaea*. Quanto aos anéis ausentes da espécie foram detectados da mesma forma que os falsos e descontínuos, e confirmados com maior precisão durante o processo de mensuração.

Figura 22. Macrografias dos anéis de crescimento de *C. odorata* (barra de escala 500 μ m). Setas brancas indicam anéis verdadeiros; setas pretas indicam anéis falsos; setas vermelhas indicam canais de resina no anel e setas amarelas indicam os vasos/poros maiores próximos ao parênquima marginal

Figura 23. Macrografias dos anéis de crescimento de *H. courbaril* (barra de escala 500 µm). Setas brancas indicam anéis verdadeiros; setas pretas indicam anéis falsos

5.2. Análises dendrocronológicas aplicadas no estudo do lenho das árvores

5.2.1. Construção das séries de largura dos anéis de crescimento e o procedimento de datação cruzada

As séries de largura dos anéis foram construídas para as árvores de *C. odorata* (Figura 24A) e de *H. courbaril* (Figura 25A), totalizando 30 séries com período de 1797 a 2014 e largura média dos anéis de 2,24 mm e de 80 séries com período de 1750 a 2015 e largura média dos anéis de 1,93 mm, respectivamente. A largura do anel corresponde ao crescimento (incremento radial).

O procedimento de verificação da qualidade da datação cruzada com o uso do software Cofecha resultou nos dados da Tabela 4 para as espécies. O nível crítico de correlação de Pearson (r) para o processo foi de 0,328 com um nível de significância de $p < 0,01$. As correlações obtidas para as espécies foram consideradas positivas e ficaram acima do nível crítico, indicando com isso um padrão de crescimento comum entre as árvores de cada espécie. Os valores de sensibilidade média ficaram acima de 0,30, que representam séries de medidas sensíveis (GRISSINO-MAYER, 2001). As séries de largura dos anéis sincronizadas para as árvores de *C. odorata* (Figura 24B) e de *H. courbaril* (Figura 25B), totalizando 09 séries com período de 1797 a 2013 e de 11 séries com período de 1750 a 2015, respectivamente.

O número de séries de anéis utilizado para cada ano na construção da série mestre para *Cedrela* com o maior número foi no intervalo de 1910 – 1919, e em seguida de 1920 – 1989 (Figura 24C) e para *Hymenaea* com o maior número foi no espaço de 1887 – 1919, seguido de 1865 – 1886 (Figura 25C).

Tabela 4. Dados obtidos após a utilização do software Cofecha para as espécies.

Espécie	Nº de árvores (Nºsérie de anéis)		Comprimento da série mestre (anos)	Total de anéis checados	Correlação (r) entre as séries de anéis	Média da sensitividade
	Antes	Depois				
<i>C. odorata</i>	15(30)	5(09)	217	1128	0,367	0,460
<i>H. courbaril</i>	33(66)	7(11)	266	1972	0,333	0,524

Figura 24. Séries (30) de largura dos anéis de *C. odorata* (A); Séries sincronizadas (09) de largura dos anéis de crescimento utilizadas na construção da série mestre (B); Número de amostras de séries de anéis utilizadas na construção da série mestre (C)

Figura 25. Séries (80) de largura dos anéis de *H. courbaril* (A); Séries sincronizadas (11) de largura dos anéis de crescimento utilizadas na construção da série mestre (B); Número de amostras de séries de anéis utilizadas na construção da série mestre (C)

5.2.2. Correlação dos anéis de crescimento do lenho das árvores com as variáveis climáticas

A padronização da largura dos anéis da série mestre em índices pelo software Arstan definiu a série cronológica (cronologia) para *Cedrela* (Figura 26A) e *Hymenaea* (Figura 27A), sendo utilizada para a correlação de cada espécie com as variáveis climáticas locais (Figura 21 Material e Métodos).

As variáveis climáticas, precipitação e temperatura, juntamente com a cronologia de cada espécie, foram primeiramente representadas graficamente, para demonstrar à primeira vista, indícios sobre a influência que cada variável exerce no crescimento das espécies. Para *Cedrela*, observou-se que, a maior precipitação anual favoreceu o seu crescimento, retratando uma relação positiva (Figura 28A). Quanto a temperatura (Figura 28B), notou-se que, este fator quando elevado não beneficiou o seu crescimento, tendo uma correlação negativa. Para *Hymenaea* na Figura 29A, a variável precipitação apresentou uma forte influência no crescimento da espécie, demonstrando uma sincronia da precipitação em relação ao crescimento. Enquanto que a temperatura (Figura 29B) evidenciou uma correlação negativa comparada com a precipitação.

A correlação ($r = 0,304$) entre os índices da variável precipitação e da série cronológica dos anéis de crescimento de *C. odorata* (Figura 30A) foi positiva nos meses de outubro e novembro do ano prévio (-1), sendo positiva e significativa para os meses de janeiro e fevereiro (estação chuvosa) do ano corrente, como também para o mês de abril do ano seguinte (+1), período este que corresponde a época chuvosa na região, conforme os dados climáticos da estação meteorológica de Belterra, PA do INMET (Figura 21 Material e Métodos).

Para os índices da variável temperatura máxima e da série cronológica dos anéis de crescimento para a espécie (Figura 30B), a correlação ($r = 0,304$) foi negativa e não significativa. É importante frisar que, o período seco na região que detém as maiores temperaturas corresponde aos meses de agosto a novembro, conforme os dados climáticos da estação meteorológica

de Belterra do INMET (Figura 21 Material e Métodos). Quanto a temperatura mínima (Figura 30C), a correlação foi negativa a partir do mês de julho (transição período chuvoso a seco) até dezembro do ano corrente e também nos meses do ano seguinte (+1) (estação chuvosa), sendo não significativa.

A correlação ($r = 0,297$) para *H. courbaril* entre os índices do fator precipitação e da série cronológica (Figura 31A) foi positiva nos meses de setembro e outubro do ano prévio (-1), no ano corrente coincidindo com os meses da estação chuvosa de janeiro a julho, sendo este último mês correspondente ao de transição entre a estação chuvosa e seca, sendo significativa no mês de janeiro que corresponde ao início da estação chuvosa.

Quanto a correlação ($r = 0,297$) para a espécie em relação aos índices de temperatura máxima e da série cronológica (Figura 31B) foi negativa para os meses setembro a dezembro do ano prévio (-1) e para todos os meses do ano corrente, sendo significativa para o mês de novembro que corresponde ao final da estação seca. Para a temperatura mínima (Figura 31C), a correlação foi positiva nos meses de outubro a dezembro (período seco) do ano corrente, como também para os meses do ano seguinte (+1), porém sendo não significativa.

Figura 26. Cronologia de *C. odorata* com amplitude de 217 anos (A); Número de amostras de séries de anéis utilizadas na construção da série mestre versus cronologia (B)

Figura 27. Cronologia de *H. courbaril* com amplitude de 266 anos (A); Número de amostras de séries de anéis utilizadas na construção da série mestre versus cronologia (B)

Figura 28. Crescimento das árvores de *C. odorata* (linha contínua) relacionado com a precipitação acumulada anual (linha pontilhada) (A) e relacionado com a temperatura média (linha pontilhada) (B) para o período de 1972 - 2013

Figura 29. Crescimento das árvores de *H. courbaril* (linha contínua) relacionado com a precipitação acumulada anual (linha pontilhada) (A) e relacionado com a temperatura média (linha pontilhada) (B) para o período de 1972 - 2015

Figura 30. Coeficiente de correlação dos índices da cronologia de *C. odorata* e das variáveis climáticas precipitação acumulada mensal (A), temperatura máxima (B) e temperatura mínima (C) para o período de 1972 a 2013 (INMET). Ano prévio (-1), ano corrente e ano seguinte (+1), indicando o crescimento. A linha tracejada indica o coeficiente de correlação $r = 0,304$, sendo significativos ($p < 0,05$) os valores superiores (cor preta) ao valor do coeficiente

Figura 31. Coeficiente de correlação dos índices da cronologia de *H. courbaril* e das variáveis climáticas precipitação acumulada mensal (A), temperatura máxima (B), temperatura mínima (C) para o período de 1972 a 2015 (INMET). Ano prévio (-1), ano corrente e ano seguinte (+1), indicando o crescimento. A linha tracejada indica o coeficiente de correlação $r = 0,297$, sendo significativos ($p < 0,05$) os valores superiores (cor preta) ao valor do coeficiente

5.2.3. Curvas de crescimento do lenho das árvores construídas pelos anéis de crescimento

5.2.3.1. Idade das árvores

Nas espécies foram mensurados o total de 10.051 anéis de crescimento, e suas idades variaram de 76 a 296 anos, as maiores idades foram observadas na *H. courbaril* (Tabela 5).

Tabela 5. Número de mensurações da largura dos anéis de crescimento utilizados na elaboração dos modelos de crescimento e idade das espécies.

Espécies								
<i>C. odorata</i>					<i>H. courbaril</i>			
Número de mensurações da largura dos anéis de crescimento	1867				8184			
Idade (anos)	Mínimo	Média	Máximo	s	Mínimo	Média	Máximo	s
	76	124	239	41,693	125	205	296	37,203

s – desvio padrão amostral

5.2.3.2. Curvas de crescimento cumulativo em diâmetro

As curvas de crescimento cumulativo em diâmetro apresentaram características específicas para cada espécie (Figura 32). *C. odorata* apresentou um crescimento diferenciado da *H. courbaril*, ou seja, cada espécie apresentou sua tendência de crescimento, evidenciando com isso as características de cada indivíduo no decorrer do seu ciclo de vida.

Figura 32. Relação entre idade e o crescimento diametral das espécies. Cada linha cinza representa o crescimento individual em diâmetro de cada árvore e a linha preta tracejada representa a tendência de crescimento diamétrico médio para cada espécie

A relação idade e diâmetro foi estabelecida a partir da construção das curvas de crescimento em diâmetro, ajustadas por um modelo de regressão não linear para a modelagem do DAP ao longo da idade para cada espécie. As correlações foram positivas e significativas para *H. courbaril* ($r = 0,91$ e $p < 0,00001$) e *C. odorata* ($r = 0,87$ e $p < 0,00001$) permitindo a referida modelagem (Tabela 6).

Tabela 6. Equações e parâmetros para relação diâmetro e idade das espécies.

Espécies	Equação	Coefficiente de correlação (r) ($p < 0,00001$)
<i>C. odorata</i>	$d = (67,642 / 1 + (60,4004 / idade)^{2,3205})$	0,87
<i>H. courbaril</i>	$d = (132,4268 / 1 + (130,9084 / idade)^{1,6378})$	0,91

p - Nível de significância

Os indivíduos apresentaram as maiores taxas de incremento diamétrico corrente nas idades de 41 anos ($0,79 \text{ cm.ano}^{-1}$) para *C. odorata* e de 56 anos ($0,62 \text{ cm.ano}^{-1}$) para *H. courbaril* com taxa média de incremento de $0,26 \text{ cm.ano}^{-1}$ e de $0,35 \text{ cm.ano}^{-1}$, respectivamente (Figura 33).

Figura 33. Modelo de crescimento em diâmetro para as espécies. O crescimento cumulativo em diâmetro é representado pela linha preta contínua, o incremento diamétrico corrente pela linha cinza e o incremento diamétrico médio pela linha preta tracejada

5.2.3.3. Curvas de crescimento em área basal

A partir da regressão para a relação idade e diâmetro foi construído também um modelo de crescimento em área basal para cada espécie. As maiores taxas de incremento para *C. odorata* e *H. courbaril* ocorreram nas idades 63 ($34,62 \text{ cm}^2.\text{ano}^{-1}$) e 120 anos ($43,43 \text{ cm}^2.\text{ano}^{-1}$), respectivamente, sendo a taxa de incremento médio para *C. odorata* de $13,31 \text{ cm}^2.\text{ano}^{-1}$ e *H. courbaril* de $28,95 \text{ cm}^2.\text{ano}^{-1}$ (Figura 34).

Figura 34. Modelo de crescimento em área basal para as espécies. O crescimento cumulativo em área basal é representado pela linha preta contínua, o incremento em área basal corrente pela linha cinza e o incremento em área basal médio pela linha preta tracejada

5.2.3.4. Curvas de crescimento em altura

A relação altura e diâmetro foi ajustada a partir da regressão não linear que proporcionou a construção de um modelo de crescimento em altura para as espécies ao longo de todo o seu ciclo de vida (Figura 35). A correlação foi considerada linear menor, tendência positiva, pelo valor apresentado para *H. courbaril* ($r = 0,13$ e $p = 0,40909$) e para *C. odorata* considerada positiva ($r = 0,48$ e $p = 0,06533$), permitindo com isso a referida modelagem (Tabela 7).

Tabela 7. Equações e parâmetros para relação altura e diâmetro das espécies.

Espécies	Equação	Coefficiente de correlação (r)
<i>C. odorata</i>	$h = (29,1793 * d) / d + 40,3032$	0,48
<i>H. courbaril</i>	$h = (31,3307 * d) / d + 8,5895$	0,13

p - Nível de significância

As maiores taxas de incremento corrente em altura para a *C. odorata* e *H. courbaril* ocorreram nas idades de 27 (0,32 m.ano⁻¹) e 10 anos (0,76 m.ano⁻¹), respectivamente, e os valores de incremento médio em altura de 0,07 m.ano⁻¹ para *Cedrela* e de 0,10 m.ano⁻¹ para *Hymenaea* (Figura 36).

Figura 35. Relação entre diâmetro e altura ajustada por regressão não linear para as espécies

Figura 36. Modelo de crescimento em altura para as espécies. O crescimento cumulativo em altura é representado pela linha preta contínua, o incremento em altura corrente pela linha cinza e o incremento em altura médio pela linha preta tracejada

5.2.3.5. Curvas de crescimento em volume

Os modelos de crescimento em altura e em diâmetro construídos para cada espécie, proporcionaram a elaboração de um modelo de crescimento em volume, de acordo com os modelos volumétricos utilizados para cada espécie. O período de corte ideal para as árvores é traduzido pelo ponto onde o incremento corrente é máximo em volume, considerando as espécies estudadas, cada uma apresentou o seu ponto de incremento máximo em volume.

C. odorata e *H. courbaril* atingiram o valor máximo em incremento corrente em volume nas idades médias de 64 anos ($0,04 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$) com diâmetro de 36,09 cm e de 110 anos ($0,07 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$) com diâmetro de 56,84 cm, respectivamente (Figura 37). Esses diâmetros derivaram do modelo de crescimento em diâmetro para cada espécie (Figura 33).

Figura 37. Modelo de crescimento em volume elaborado a partir da análise de regressão das relações diâmetro e idade e altura para as espécies. O crescimento cumulativo em volume é representado pela linha preta contínua, o incremento em volume corrente pela linha cinza e o incremento em volume médio pela linha preta tracejada. A seta vermelha indica o ponto máximo de incremento em volume para as espécies

5.2.4. Ciclo de corte e diâmetro mínimo das árvores pelos anéis de crescimento (manejo florestal)

O ciclo de corte, contado no decorrer da passagem média de tempo pelas classes de diâmetro a cada 10 cm até a árvore atingir o diâmetro ideal para o corte (Figura 38). As espécies apresentaram pouca diferença na idade para atingir o diâmetro de 50cm, praticado pela legislação vigente, sendo a idade de 95 anos para *Cedrela* e 97 anos para *Hymenaea*. As espécies *C. odorata* e *H. courbaril* apresentaram ciclos de corte médio de 18 e 19 anos, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8. Diâmetro mínimo de corte (DMC), ciclo de corte (CC), idade ao atingir o diâmetro ideal para o corte – DMC para as espécies.

Espécies	DMC (cm)	CC (anos)	Idade ao atingir o DMC (anos)
<i>C. odorata</i>	36,09	18	64
<i>H. courbaril</i>	56,84	19	110

Figura 38. Relação entre diâmetro e idade para (A) *C. odorata* e (B) *H. courbaril* e o tempo correspondente que cada espécie necessitou para atingir cada classe de 10 cm de diâmetro até alcançar o diâmetro mínimo de corte (DMC) representado pela linha vermelha. O diâmetro no limite de corte representado pela linha preta tracejada está de acordo com a legislação florestal vigente

6. DISCUSSÃO

6.1. Anatomia dos anéis de crescimento do lenho das árvores

Os anéis de crescimento de *C. odorata* são demarcados pela diferença gradual do diâmetro dos vasos (poros) e sua frequência e também delimitados pelo parênquima marginal, corroborando com as descrições dos autores (TOMAZELLO FILHO, 2000; VETTER, 2000; WORBES, 2004; ROSA, 2008; CECCANTINI et al. 2008; CORADIN et al. 2010; GUEROVICH, 2011; COSTA, 2011; TREVIZOR, 2011; LOTFIOMRAN & KÖHL, 2017). Ao longo do raio da seção transversal das amostras do lenho das árvores da espécie, observou-se uma sequência de linhas concêntricas de parênquima marginal e de anéis semi-porosos (vasos de maior e menor diâmetro, com os vasos de maior diâmetro caracterizando o início do período vegetativo) (BURGER & RICHTER, 1991).

A presença de anéis de crescimento associados aos canais de resina foi observada por DÜNISCH et al. (2002) de origem traumática (BURGER & RICHTER, 1991) formados no lenho das árvores de *Cedrela*, são em resposta às injúrias das células do câmbio pela ação de fatores externos (seca, incêndios, insetos, etc.) (FAHN, 1988). Os canais de resina de origem traumática são, comumente, observados nas espécies da família Meliaceae (KRIBS, 1959).

No lenho das árvores de *H. courbaril*, os anéis de crescimento indicam sua demarcação pelo parênquima axial marginal (KRIBS, 1959; TOMAZELLO FILHO et al. 1983; WORBES, 2004; WESTBROOK, 2006; CECCANTINI et al. 2008; LISI et al. 2008; CORADIN et al. 2010; CALDERÓN, 2011; TREVIZOR, 2011; ANDRADE, 2015; LOPÉZ & VILLALBA, 2016; LOTFIOMRAN & KÖHL, 2017).

A espécie apresentou falsos anéis que foram caracterizados pela confluência do parênquima aliforme (envolve os vasos) formando uma faixa fina próxima ao anel verdadeiro, e também pela formação de uma faixa de parênquima marginal que acompanha e é próxima ao anel verdadeiro que pode se fundir a ele ou não em determinado ponto da seção transversal, esta última descrição também foi observada por LOCOSSELLI et al. (2013) ao descreverem os anéis de crescimento falsos no lenho das árvores de *H. courbaril*, como finas linhas de parênquima

marginal aproximadas, convergindo para apenas uma única linha (anéis de crescimento em lentes) em determinada região do lenho. CALDERÓN (2011) também fez uma descrição semelhante a encontrada para a espécie. ANDRADE (2015) observou em suas amostras de *Hymenaea* anéis falsos, ausentes e descontínuos.

Os anéis de crescimento ausentes ocorrem em árvores durante períodos de estresse ambiental (LORIMER et al. 1999). Esses anéis podem estar ausentes, na base de uma árvore suprimida, como um resultado de injúria por inseto, de fogo, de doença, de seca severa, de poda severa e de idade muito avançada de acordo com STUDHALTER et al. (1963) o que confirma a ocorrência na espécie, considerando que as amostras utilizadas foram da base de árvores longevas. FRITTS (1976) diz que o xilema pode ser descontínuo ou ausente em certas áreas do fuste, especialmente próximo da base.

CARLQUIST (1988) descreveu os tipos de marcação de anel de crescimento que foram encontrados em *Cedrela* e *Hymenaea* e indicou dentre as famílias que marcam anéis de crescimento, a Meliaceae e a Fabaceae (em parte).

6.2. Análises dendrocronológicas aplicadas no estudo do lenho das árvores

6.2.1. Construção das séries de largura dos anéis de crescimento e o procedimento de datação cruzada

A datação cruzada entre as árvores de *Cedrela* e de *Hymenaea* ocorreu de maneira satisfatória, confirmada pelos coeficientes obtidos, assim como a média de sensibilidade que para ambas as espécies foram consideradas altas, apontando alta variação na largura dos anéis, bem como maior sensibilidade a variações ambientais (GRISSINO-MAYER, 2001). Indicando que as árvores de cada espécie possuem um perfil característico e correspondente a sua área de distribuição, no caso, a FLONA Tapajós.

Para árvores de *C. odorata* ocorrentes na floresta sub-tropical úmida peruana da região de Madre de Dios, Peru, o valor atingido foi de 0,499 de intercorrelação (GUEROVICH, 2011). Enquanto que, para 27 árvores de *C. odorata* na Floresta Central, Distrito San Martin de Pangoa, Peru, à 1250 m de altitude,

indicaram um valor de 0,26 de correlação média entre árvores e de 0,27 de sensibilidade média para um intervalo de 214 anos (ESPINOZA et al. 2014). Em árvores do gênero *Cedrela*, porém espécie *fissilis* encontradas em ambiente de ecótono de florestas subtropicais montanas no Rio Grande do Sul, os valores de correlação e sensibilidade foram 0,331 e 0,573, respectivamente (RAUBER, 2010). Para a mesma espécie, estudada em cinco fragmentos de floresta nativa decídua localizada nos municípios de Januária, Pandeiros e Itacarambi localizados ao norte de Minas Gerais, foram encontrados 0,679 de correlação e 0,658 de sensibilidade (BARBOSA et al. 2018). INGA & DEL VALLE (2017) estudando *C. odorata* oriunda de floresta primária, na Floresta Central, Províncias de Atalaya e Satipo, Peru, encontraram 0,419 de correlação e 0,524 de sensibilidade. BRIENEN & ZUIDEMA (2005) avaliando a mesma espécie no norte da Amazônia Boliviana encontraram 0,57 de intercorrelação. No Suriname LOTFIOMRAN & KÖHL (2017) encontraram 0,54 de média de sensibilidade.

As árvores de *H. courbaril* ocorrentes no Parque Estadual de Terra Ronca, Goiás, apresentaram valor da intercorrelação e de sensibilidade de 0,44 e 0,53, respectivamente (LOCOSSELLI, 2016). E, no Cerrado Boliviano, Distrito Guarayos, sítio La Chonta, os valores encontrados para a espécie foram 0,32 e 0,41, correlação e sensibilidade, de modo respectivo (LÓPEZ & VILLALBA, 2016). No sul da floresta tropical úmida do Peru, na região de Madre de Dios, o valor de correlação para a espécie foi de 0,343 (CALDERÓN, 2011). Para as espécies *stigonocarpa* e *martiana* do gênero *Hymenaea* estudadas em cinco fragmentos de floresta nativa decídua localizada nos municípios de Januária, Pandeiros e Itacarambi localizados ao norte de Minas Gerais, foram encontrados 0,412 e 0,332 de correlação e 0,683 e 0,781 de sensibilidade, respectivamente (BARBOSA et al. 2018). No Suriname LOTFIOMRAN & KÖHL (2017) encontraram para a espécie 0,47 de média de sensibilidade.

Analisando os valores encontrados de intercorrelação e sensibilidade na literatura supracitada para as espécies, em comparação com os valores encontrados neste trabalho, pode-se inferir que os valores de intercorrelação são mais similares para *H. courbaril* e menos semelhantes para *C. odorata*, porém não são iguais para ambas as espécies. Os diferentes valores traduzem o nível de correlação entre as

árvores de cada espécie a partir da característica dos seus anéis de crescimento, a ocorrência de falsos anéis pode colaborar para o não aumento do valor de intercorrelação, onde o local/origem em que encontra-se situada a espécie, seria um fator que provavelmente teria influência nesta diferença, sendo somado a isso a própria distribuição das espécies na sua área de ocorrência, se as árvores são mais próximas ou mais distantes umas das outras, sendo importante destacar nesta situação um alcance mais efetivo do sinal comum entre os indivíduos de cada espécie. No entanto, a maioria dos valores de sensibilidade demonstrados são altos, corroborando com os valores encontrados para uma e outra espécie, que destacam principalmente a grande variação que ocorre entre os anéis, sinalizando que as espécies são sensíveis as variações que ocorrem no ambiente.

6.2.2. Correlação dos anéis de crescimento do lenho das árvores com as variáveis climáticas

Nos trópicos, como nas zonas temperadas, o efeito dos fatores climáticos pode ser intensificado pelas condições locais (WORBES, 1989). As cronologias de anéis de crescimento de árvores tropicais evidenciam respostas individuais e diferenciais em relação à precipitação, indicando forte dependência do crescimento radial do tronco à distribuição da precipitação pluviométrica do ano (WORBES, 1999). De acordo com essa afirmativa, pode-se considerar que a precipitação é o fator climático que influencia no crescimento em diâmetro das espécies tropicais. BRIENEN e colaboradores (2016) falam que o crescimento das árvores tropicais é sensível às chuvas e a temperatura e é reduzido nos anos secos e quentes.

Os diversos componentes do clima não têm a mesma influência em todas as regiões. No caso das temperadas e frias, geralmente é a temperatura o fator condicionante da vegetação, em contrapartida, nas regiões tropicais, é a umidade, dependente da precipitação, que limita e condiciona a vegetação, tudo isso validado pela distribuição individual das espécies e pelos tipos de vegetação (FERRI, 1980).

O crescimento da árvore é definido pelo aumento em altura, em diâmetro do tronco e consequentemente pelo volume em madeira e está diretamente influenciado pelo seu meio ambiente, sendo a influência do meio manifestada pela ação de diversos fatores, como ecologia, solo, clima, dentre outros, de maneira quase que totalmente indireta afetando os diversos processos fisiológicos. Os fatores climáticos estão relacionados com a atmosfera, incluindo neste grupo a radiação, a temperatura, a água (precipitação, água no solo), o vento, dentre outros (CAMPOS, 1970).

A *C. odorata* apresentou uma resposta positiva em relação a precipitação, no período da estação chuvosa da região, indicando influência do fator no seu crescimento, sendo significativa no ano corrente nos meses de janeiro e fevereiro, e no ano seguinte (+1) no mês de abril. WORBES (1999) relata que o crescimento da madeira começa logo após o início da estação chuvosa e nas espécies decíduas, como a *Cedrela*, pára no final da estação chuvosa. O início da queda das folhas e da dormência cambial estão associados à quantidade de precipitação, e a data, portanto, varia de ano para ano, e a consequente variação na duração do período de crescimento reflete na largura dos anéis das árvores. VETTER (2000) em estudo realizado com a espécie observou correlação com os meses de precipitação. Da mesma forma, ESPINOZA et al. (2014); DÜNISCH (2002) constataram uma forte relação da espécie com a precipitação. GRANATO-SOUZA et al. (2018) estudando o gênero *Cedrela* para reconstrução climática nas proximidades do Rio Paru constataram uma correlação com a precipitação. Situação observada com a espécie neste estudo.

A atividade cambial das árvores de *C. odorata* é determinada pelo estoque de água no solo das florestas da Amazônia, mobilizado no próximo período de crescimento pela sua retomada gradual (DÜNISCH et al. 2003). Ainda, a literatura reporta sobre os eventos fenológicos das árvores da espécie ocorrentes na Amazônia, na estação seca, evidenciados pela queda das folhas, e assim, induzindo a dormência da atividade cambial em resposta ao estresse hídrico (WORBES, 1995; BOTOSSO et al. 2000; DÜNISCH et al. 2003).

O balanço hídrico para o município de Belterra, PA demonstrado na Figura 39 refere-se aos meses de deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica ao longo do ano. A correlação positiva no ano prévio (-1) nos meses de outubro e novembro, final da estação seca, pode ser referendada pela retirada de água armazenada no solo, pela espécie, durante esta estação, mais precisamente no final.

Figura 39. Balanço hídrico normal do município de Belterra, PA, CAD 100 mm realizado pelo Departamento de Física e Meteorologia ESALQ/USP
 Fonte: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/nurma.html>, acesso jun/2018

A relação da espécie com a temperatura máxima foi negativa e não significativa, incluindo os meses (outubro, novembro e dezembro) do ano prévio (-1) e do ano corrente da estação seca. Enquanto que, a temperatura mínima foi negativa e não significativa nos meses do ano corrente da estação seca, seguindo negativa nos meses do ano seguinte (+1) início da estação chuvosa. Portanto, o fator temperatura não é o limitante para o seu crescimento, situação convencional em se tratando da região Amazônica.

Outros fatores que podem estar relacionados ao crescimento durante o aumento da temperatura no auge da estação seca é a alta sensibilidade, e a espécie decídua tem a sua fenologia bastante afetada, e a formação de novas folhas pode ocorrer ainda no final da estação seca (BORCHERT et al. 2002; DÜNISCH et al. 2003). Essa situação que pode

explicar a significância na correlação no final da estação seca e início da chuvosa.

A *H. courbaril* apresentou uma relação positiva com a precipitação no ano corrente, indicando que com a incidência das chuvas houve crescimento, a qual se estendeu até o início da estação seca, sendo significativa no mês de janeiro (início da estação chuvosa) coincidindo provavelmente com a ativação do câmbio, pois no ano prévio (-1), nos dois últimos meses foi negativa. Notou-se que, a correlação continuou positiva durante a estação seca na maioria dos meses, estendendo-se até o ano seguinte (+1), indicando que as chuvas que possam ocorrer nesse período influenciam na ativação do câmbio, ou melhor, a correlação positiva no final da estação seca indo para a chuvosa pode estar relacionada com o balanço hídrico (Figura 39) combinando com os períodos de retirada e reposição, e devido a isso a provável ocorrência de falsos anéis. A *Hymenaea* que apresentou de forma bem explícita a relação do seu crescimento com a precipitação, confirmando a sua importância na fisiologia e produção de madeira para a espécie. CAMPOS (1970) informa que o excesso de água pode ser prejudicial ligado a outros fatores, porém é menos comum que o déficit, nota-se que árvores em lugares de drenagem deficiente, podem absorver menos água que em solo seco, diminuindo com isso o crescimento, e demonstrando que o crescimento nem sempre é diretamente correlacionado com a precipitação ou com a água no solo. VETTER (2000); LOCOSSELI (2010); CALDERÓN (2011) também observaram a correlação da espécie com a precipitação.

As árvores de *H. courbaril* respondem diferenciadamente no crescimento em relação às variações climáticas anuais, sendo regulado principalmente pela precipitação no período de transição (LOCOSSELI et al. 2016), representado para a espécie pela significância no início da estação chuvosa. E, devido a isso, o começo do seu crescimento, em espécies perenes o crescimento continua até algumas semanas após o início da estação seca (WORBES, 1999), o que ocorreu com a espécie estudada, e apesar do mesmo comportamento citado é considerada semi-decídua.

A associação da temperatura máxima com o crescimento para a espécie foi negativa, indicando que precisa de temperaturas menores para

crescer, tanto no ano prévio (-1) como no ano corrente, pois tudo indica que a precipitação é o fator limitante para o seu crescimento, sendo significativa no mês de novembro, final da estação seca do ano corrente. A temperatura mínima não foi significativa, mas foi positiva na maioria dos meses da estação seca do ano corrente e nos meses do ano seguinte (+1), confirmando a necessidade de temperaturas menores para favorecer o seu crescimento.

Nos tecidos do lenho das árvores há maior concentração de material de reserva, por exemplo o amido, no período de temperatura mais baixa, em relação ao de temperatura mais alta (HÖLL, 1985). Este comportamento pode explicar a correlação significativa do mês de novembro, quando as árvores da espécie podem fazer as reservas no período chuvoso de menor temperatura e as utilizar no período seco com maior temperatura. WILMKING et al. (2012) informam que a temperatura alta afeta os processos da planta. CAMPOS (1970) diz que a temperatura é um fator climático que pode tornar-se decisivo para o crescimento das árvores e sua ação indireta pode influenciar processos fisiológicos como a fotossíntese, a respiração, a transpiração e a divisão celular.

De acordo com as informações abordadas sobre *Cedrela* e *Hymenaea* em relação aos fatores climáticos locais, pode-se destacar que, por serem espécies do bioma Amazônia e a região ser caracterizada pela ocorrência nítida de praticamente duas estações durante o ano denominadas de inverno e verão amazônico, atribuiu-se o crescimento propriamente dito, ao período de maior precipitação, informação já elucidada pela literatura citada anteriormente.

6.2.3. Curvas de crescimento do lenho das árvores construídas pelos anéis de crescimento

6.2.3.1. Idade das árvores

As espécies estudadas apresentaram diversas idades obtidas pelos anéis de crescimento em uma amplitude que variou de 76 a 296 anos, o que permitiu conhecer informações correspondentes a todo seu ciclo de vida em um mesmo ambiente, porém respondendo de uma forma particular remetida a cada espécie, bem como a sua interação com o meio em que se desenvolveram.

A investigação sobre o crescimento individual de árvores nos trópicos requer diretamente a determinação da idade pelos anéis de crescimento para confirmação de sua estimativa de idade (WORBES & JUNK, 1999). Para entender a floresta e a dinâmica de sua população é necessário conhecer a idade das árvores e seus estágios sucessionais (WORBES, 2002).

Considerou-se sempre que o diâmetro da árvore está diretamente relacionado com a sua idade, esta situação em alguns casos subestimou a idade de alguns indivíduos, sendo que para árvores de zona temperada esta relação ocorre dentro de um certo intervalo aceitável, já para as espécies tropicais o crescimento parece depender da posição social da árvore, se dominante ou suprimida (ROIG, 2000). O diâmetro em relação a idade das árvores estudadas variou tanto na *Cedrela* como na *Hymenaea*, ambas apresentaram árvores mais velhas com diâmetros menores, assim como árvores mais novas com diâmetros maiores e vice-versa, elucidando a posição social que cada indivíduo ocupa na floresta, como também as condições de sítio para o seu desenvolvimento (Figura 40).

Figura 40. Idade obtida pelos anéis de crescimento e diâmetro obtido em campo das espécies. (A) *C. odorata* e (B) *H. courbaril*. As barras em preto representam a idade e a linha em cinza representa o diâmetro

Amostras de 97 árvores oriundas da Amazônia, especificamente de Manaus, Rio Branco e Santarém (FLONA Tapajós), foram datadas por radiocarbono, outro método para determinar a idade das árvores a longo prazo nas florestas tropicais, os autores informaram que no sítio Santarém a média de idade em anos de acordo com as análises realizadas foi de 195, 255 e 153, e afirmaram ainda que taxas de crescimento lentas significam que as árvores podem atingir grandes idades (VIEIRA et al. 2005). Resultado este que corrobora com o encontrado para as espécies estudadas de *Cedrela* e *Hymenaea* no mesmo sítio, em que as idades encontradas pelos anéis de crescimento se aproximaram a quase 300 anos.

Intervalo e média de idade para as espécies em diferentes locais de estudo. Para *H. courbaril*, média de idade de 185 anos em Novo Aripuanã, AM (ANDRADE, 2015); no Suriname de 102 anos (LOTFIOMRAN & KÖHL, 2017); no Cerrado, no distrito de Guarayos, Bolívia, idade acima de 100 anos (LÓPEZ et al. 2013); na Província de Tahuamanu, na região de Madre de Dios, Peru, intervalo de idade de 108 a 163 anos (CALDERÓN, 2011). Para *C. odorata*, média de idade de 74 anos na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, AM (ROSA, 2008); e estimativa de idade superior a 200 anos na Província de Satipo no Peru (ESPINOZA et al., 2014); e média de idade de 131 anos na Província de Tahuamanu, na região de Madre de Dios, Peru (GUEROVICH, 2011); na Amazônia Central intervalo de idade de 73 a 157 anos (DÜNISCH et al. 2003); na Reserva Biológica do Tinguá, Floresta Atlântica, RJ intervalo de idade de 73 a 157 anos (COSTA, 2011); no Suriname média de 101 anos (LOTFIOMRAN & KÖHL, 2017).

A contagem de anéis em árvores parece simples, porém no contexto da dinâmica da floresta a idade da árvore é um parâmetro importante e valioso. Nos trópicos, o conhecimento sobre as taxas de crescimento e a dinâmica da floresta é extremamente insuficiente, devido a falta de tabelas de produção confiáveis e a ausência presumida de anéis de árvores (WORBES, 2002). Para o manejo e a ecologia a estimativa da idade é de grande importância, sobretudo na determinação dos ciclos de corte, desbastes, estimativa de cortes e de volume aceitável para uma exploração sustentável baseada nesse conhecimento (BOTOSSO & MATTOS, 2002).

6.2.3.2. Curvas de crescimento

As curvas cumulativas em diâmetro representaram o crescimento individual de cada árvore por espécie ao longo de seu ciclo de vida, demonstrando com isso a diferença que ocorre no desenvolvimento de cada espécie. BRIENEN & ZUIDEMA (2007) estudando espécies na Amazônia boliviana, sendo uma delas a *C. odorata*, constataram que a reconstrução do ciclo de vida, pelas trajetórias da relação idade e diâmetro a partir da mensuração de anéis de crescimento revelaram grande variação a longo prazo das taxas de crescimento entre as árvores, resultando em um padrão idade-

diâmetro para a espécie. Referendando que cada espécie possui um padrão de crescimento.

H. courbaril apresentou um crescimento mais equivalente entre as suas árvores, provavelmente, devido a similaridade da longevidade, enquanto que a *C. odorata* apresentou um crescimento diferenciado entre seus indivíduos, com uma amplitude variada de idades. A inclinação acentuada ao longo de toda a trajetória do crescimento indica que são árvores que mantiveram altas taxas de crescimento ao longo de sua vida e são extremamente rápidas, contrastando com árvores de crescimento extremamente lento refletindo da mesma maneira nas taxas de crescimento ao longo de sua vida (BRIENEN & ZUIDEMA, 2007).

Outro ponto importante, as árvores de *Cedrela* estavam localizadas distantes uma das outras espacialmente na área, ao mesmo tempo que a *Hymenaea* na mesma área, com as árvores mais próximas espacialmente, e de acordo com os dados do inventário nas áreas das unidades de produção anual (ano 2013 e 2015) a densidade na área para *Cedrela* foi de 0,078 e de 0,055 ind.ha⁻¹ e para *Hymenaea* de 0,523 e de 0,296 ind.ha⁻¹ nos respectivos anos (POA, 2013; POA, 2015). As florestas tropicais são densas e de grande diversidade de espécies, em geral os indivíduos de uma mesma espécie distribuem-se no sítio a uma certa distância, considerável, uns dos outros, podendo ocorrer competições intraespecífica e interespecífica (FERRI, 1980). Ambas as espécies apresentaram uma mesma tendência de crescimento, com o aumento da idade houve o aumento do diâmetro.

O incremento corrente em diâmetro para as espécies obedeceu a mesma tendência de crescimento, aumentando de forma gradativa para ambas até atingir o seu incremento máximo, porém com tempo (idade) diferenciado para atingi-lo, assim como também diferença para os valores, sendo maiores na *C. odorata* em relação a *H. courbaril* que apresentou valores menores, incrementando cada espécie de uma forma, mais rápida e mais lenta, nesta ordem, e de acordo com as condições disponíveis para o seu desenvolvimento e sua dinâmica de crescimento. As árvores de florestas tropicais apresentam diferenças persistentes de crescimento que são provavelmente causadas por diferenças na disponibilidade de luz e água (FERRI, 1980; BRIENEN &

ZUIDEMA, 2007), danos, patógenos e infestação de lianas (BRIENEN & ZUIDEMA, 2007). Essa infestação de lianas (cipós) pode restringir o crescimento em diâmetro (OLIVEIRA et al. 2011) e pode ser resultante de grandes aberturas no dossel por vendavais, exploração sem planejamento ou ainda, por desbastes com grande intensidade (SILVA et al. 2005).

O incremento médio da *H. courbaril* foi maior comparado com o da *C. odorata* provavelmente, devido ao incremento mais lento e essa tendência suceder-se praticamente em todo o seu ciclo sem grandes alterações, diferentemente da *Cedrela*, incrementando mais rapidamente até o ponto máximo e após da mesma forma, porém no sentido inverso. Informações sobre essas trajetórias, sobretudo a presença e frequência de períodos de alto crescimento (liberação) e baixo crescimento (supressão) é fundamental para compreender as diferenças no ciclo de vida entre as espécies (BRIENEN & ZUIDEMA, 2006b). As árvores de *C. odorata* são consideradas tolerantes à sombra, possuem crescimento independente das condições de iluminação, sendo que, em condições ótimas de luminosidade na sua copa, a espécie responde com maior taxa de crescimento do fuste. A determinação e a previsão do crescimento em diâmetro das árvores de diferentes espécies florestais, constituem-se em uma das mais importantes variáveis do manejo florestal (CUNHA et al. 2016).

O incremento médio em diâmetro para as espécies em diferentes locais de estudo. Para *H. courbaril*, na FLONA Tapajós, Belterra, PA, 0,32 cm.ano⁻¹ (VIEIRA, 2003); na floresta semi-decídua do Parque Estadual de Porto Ferreira, SP, acima de 0,79 cm.ano⁻¹ (LISI et al. 2008); na Província de Tahuamanu, na região de Madre de Dios, Peru, 0,55 cm.ano⁻¹ (CALDERÓN, 2011); em Novo Aripuanã, AM, 0,39 cm.ano⁻¹ (ANDRADE, 2015); no Cerrado, no distrito de Guarayos, Bolívia, 0,55 cm.ano⁻¹ (LÓPEZ et al. 2013); no Suriname 0,6 cm.ano⁻¹ (LOTFIOMRAN & KÖHL, 2017). Para *C. odorata*, na Amazônia Central, 0,29 cm.ano⁻¹ (DÜNISCH et al. 2003); na FLONA Tapajós, Belterra, PA, 0,23 cm.ano⁻¹ (VIEIRA, 2003); na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, AM, 0,94 cm.ano⁻¹ (ROSA, 2008); na Província de Tahuamanu, na região de Madre de Dios, Peru, 0,58 cm.ano⁻¹ (GUEROVICH, 2011); na Reserva

Biológica do Tinguá, Floresta Atlântica, RJ, $0,29 \text{ cm.ano}^{-1}$ (COSTA, 2011); no Suriname $0,52 \text{ cm.ano}^{-1}$ (LOTFIOMRAN & KÖHL, 2017); na Floresta Central, Províncias de Atalaya e Satipo, Peru, $0,59 \text{ cm.ano}^{-1}$ (INGA & DEL VALLE, 2017). As diferenças de incremento refletem às condições proporcionadas pelo meio para o desenvolvimento de cada espécie.

Em relação ao incremento em área basal para as espécies, o mesmo, ocorreu de forma semelhante ao incremento em diâmetro, sendo o maior tempo (idade) para atingir o incremento máximo para *Hymenaea*, praticamente o dobro do tempo para *Cedrela*, ocorrendo da mesma forma com o valor de incremento médio, o qual ficou bem acima do valor encontrado para a espécie. Apesar da *Cedrela* incrementar mais rapidamente no fator tempo que a *Hymenaea* isso não faz com que a espécie tenha maior incremento em diâmetro e conseqüentemente em área basal.

O incremento máximo em altura para *Hymenaea* intercorreu ainda inicialmente, aos 10 anos, dando indício da prioridade para o crescimento vertical inicialmente para posteriormente prevalecer o crescimento em diâmetro, de acordo com a sua classificação de secundária tardia (LIMA et al. 2011) optando por crescer até atingir o dossel (GANDOLFI et al. 1995). No caso da *Cedrela*, apesar da taxa de incremento máximo acontecer em uma idade maior, a prioridade em relação ao crescimento vertical é semelhante a outra espécie, porém é construído ao longo de sua vida de uma maneira mais rápida denotando sua condição de secundária inicial (LIMA et al. 2011), e de acordo com os autores a espécie cresce mais com maior incidência de luminosidade (LEÃO et al. 2011), por isso o incremento médio é menor, podendo ser reflexo de um longo período de baixo crescimento, pois a espécie tem alta capacidade de sobreviver a períodos de supressão (BRIENEN & ZUIDEMA, 2006b). A luta pela luz é facilmente percebida, as árvores desenvolvem mecanismos que fazem as copas de umas se colocarem sobre as outras e tornam-se alongadas, com poucas ramificações, economizando material que será utilizado na construção do tronco (FERRI, 1980).

A análise dos anéis de crescimento é uma maneira eficiente de obter a informação sobre a variação do crescimento das árvores a longo prazo,

variação esta que deve ser considerada para previsões mais realistas de volume de madeira (BRIENEN & ZUIDEMA, 2007).

As espécies apresentaram o incremento máximo em volume em idades diferentes, sendo que a *Hymenaea* de densidade básica pesada 0,76 g/cm³ (SFB, 2018) levou um tempo bem maior em relação a *Cedrela* de densidade básica leve 0,39 g/cm³ (SFB, 2018), se considerarmos a densidade da madeira de cada uma podemos afirmar que a espécie de maior densidade atingirá o seu máximo incremento em um período de tempo maior, por conseguinte um diâmetro maior, ao contrário da espécie de densidade menor. BARBOSA et al. (2018) afirmam que espécies de densidade alta e tolerantes a sombra apresentam baixas taxas de crescimento. SCHÖNGART (2008) analisando espécies de várzea, constatou que as de densidade baixa apresentaram um crescimento em volume mais rápido que as espécies com alta densidade, devido as maiores taxas de incremento em diâmetro e altura. O mesmo ocorrendo, principalmente com a *Cedrela*, em relação ao diâmetro e com a *Hymenaea* em altura, porém em terra firme.

Esse máximo incremento indicou o período ideal de corte para cada espécie, com seu respectivo diâmetro, a legislação vigente indica um diâmetro mínimo de corte a partir de 50 cm. Dentre as espécies, podemos perceber que a *Cedrela* apresentou um diâmetro menor e a *Hymenaea* um diâmetro maior, considerando o praticado pela legislação, indicando que cada espécie possui o seu momento ótimo de produção em volume, segundo (SCHÖNGART, 2008) é importante saber em que idade e diâmetro este momento ocorre para um corte seletivo eficiente. O mesmo deveria ser considerado para o seu melhor aproveitamento, e, posteriormente a colheita, a condução mais eficiente dos indivíduos remanescentes na floresta. Vale ressaltar que, o Projeto de Manejo Florestal Ambé utiliza especificamente para as árvores de *Hymenaea*, selecionadas para o corte, valores de diâmetro acima do indicado pela legislação, sendo considerada uma prática constante.

O acompanhamento do crescimento em diâmetro das árvores na área da FLONA do Tapajós (Tabela 10), assim como na área de manejo florestal do Projeto Ambé (Tabela 9), vem sendo executado por meio de parcelas

permanentes (PPs) instaladas a partir da década de 80 e do início das atividades exploratórias em 2005, respectivamente, ambos conduzidos pelo sistema de Monitoramento de Florestas Tropicais (MFT) da Embrapa Amazônia Oriental, sendo este último em parceria com a Universidade Federal do Oeste do Pará. Da mesma maneira que, outras áreas na Amazônia fazem uso das parcelas permanentes para o conhecimento da dinâmica do crescimento de suas florestas.

O monitoramento do crescimento das árvores e de sua regeneração natural em florestas tropicais é efetivado pelo inventário florestal contínuo de parcelas permanentes, cujos dados são fundamentais para o estabelecimento da quantidade de matéria-prima a ser utilizada anualmente, possibilitando seu uso racional. O diâmetro/circunferência das árvores é a principal variável a ser monitorada, pois dele dependem todos os cálculos de crescimento (SILVA et al. 2005).

De acordo com as informações contidas na Tabela 9 foram encontrados apenas esses indivíduos amostrados, considerando que o monitoramento da classe de tamanho “árvores” ocorre com diâmetro a partir de 10 cm conforme SILVA et al. (2005). Tendo em vista, que as parcelas foram instaladas após a atividade de exploração subentende-se que essas árvores são remanescentes e, portanto, com diâmetro a partir de 10 cm até aproximadamente 50 cm ou mais, dependendo do tempo de instalação e acompanhamento. A pouca quantidade de indivíduos remete a densidade das espécies na área, ainda nesse intervalo de diâmetro, não abrangendo uma amplitude maior, restringindo com isso o prognóstico de crescimento. Assim como o seu desenvolvimento nas condições em que se encontram, e que influenciam no seu crescimento, principalmente a luminosidade, neste caso, proporcionada pela exploração ocorrida na área e que deva ter exercido uma influência significativa no seu crescimento e respectivos valores obtidos. A variável iluminação da copa é um item avaliado neste tipo de monitoramento e indica o nível de exposição da copa à luz, assim como o grau de competição existente com copas de árvores vizinhas (SILVA et al. 2005).

As árvores tanto de *Cedrela* como de *Hymenaea* apresentaram incrementos em diâmetro acima da média encontrada para as espécies pelos anéis de crescimento para todo o ciclo de vida, exceto para uma árvore que apresentou valor abaixo, vale evidenciar que estes valores apresentados correspondem a um valor total de crescimento para um período curto de observação pelas PPs resgatando apenas uma parte da história de uma árvore/espécie, enquanto que pelos anéis de crescimento todo o histórico da árvore/espécie foi obtido, ou melhor, as informações correspondem a todo o seu tempo de vida, considerando a sua idade.

Da mesma maneira na Tabela 10 em uma área mais abrangente e com maior período de monitoramento, porém contendo sítios com períodos mais curtos, a mesma situação se repete em relação a densidade das espécies, ou seja, uma quantidade maior de árvores de *Hymenaea* em relação a *Cedrela* confirmando uma maior densidade dessa espécie na área da FLONA Tapajós em relação a outra espécie mencionada. O diâmetro das árvores observadas para *Hymenaea* e *Cedrela* obedece a um intervalo no início do monitoramento de 5,1 a 122,1 cm e de 7,4 cm a 12,2 cm, respectivamente.

No caso da *Cedrela* foram observados seis indivíduos em dois sítios diferentes, durante um período também diferenciado de monitoramento. Observa-se que tanto a média como o maior incremento ocorreu na área que houve exploração, provavelmente a diminuição da competição com indivíduos próximos ajudou no crescimento, e que este máximo crescimento foi acompanhado em apenas um indivíduo durante todo o período de observação mencionado, sendo que também houve mortalidade de indivíduos, reduzindo com isso a amostragem para o período total analisado. Foram mencionadas três classes de identificação do fuste (CIF), as quais foram: Classe 1 – árvore viva em pé com fuste completo, a maioria dos indivíduos; Classe 2 – árvore viva em pé, sem copa com fuste igual ou maior de 4,0 m de comprimento; Classe 5 – árvore morta por causa natural. Ainda, a iluminação de copa foi classificada, como: 2 - copa parcialmente iluminada, ou seja, parcialmente coberta por copas de árvores vizinhas, situação mais observada; 3 – copa completamente coberta

por copas de árvores vizinhas, recebendo apenas luz lateral ou difusa. Tanto o CIF quanto a iluminação de copa estão de acordo com SILVA et al. (2005).

A partir dos anéis de crescimento analisados para a modelagem do crescimento de *Cedrela* pode-se afirmar que a espécie consegue incrementar 30 cm em diâmetro (Tabela 10) após 31 anos de monitoramento, considerando o intervalo aproximadamente de 10 cm (diâmetro no início do monitoramento) até 40 cm (diâmetro na última leitura do monitoramento), levando em torno de 42 anos, ou melhor, considerando que a espécie estaria com uma idade média de 29 anos aos 10 cm de diâmetro, portanto, com o diâmetro em torno de 40 cm a espécie conteria aproximadamente 71 anos, e já teria atingido o seu máximo incremento em diâmetro, assim como seu máximo incremento em volume. Portanto, vale ressaltar que, de acordo com este trabalho realizado com a espécie na área da FLONA Tapajós, a mesma incrementa em média 0,26 cm.ano⁻¹.

Para *Hymenaea* foram observados 112 indivíduos distribuídos em sete sítios diferentes, com períodos diferentes de observação, onde os períodos mais longos monitorados ocorreram em cinco sítios, sendo que os mesmos apresentaram os maiores incrementos em diâmetro, exceto para um sítio que apresentou apenas uma única árvore que no início do acompanhamento já apresentava o diâmetro em torno de 110 cm. Apesar da quantidade de árvores nos sítios que apresentaram os maiores valores de crescimento, o valor máximo atingido corresponde a um indivíduo dentre os demais na sua maioria. O mínimo de crescimento é bem semelhante comparando todos os sítios. Não houve uma evidência no crescimento considerando áreas exploradas e não exploradas.

A mortalidade de indivíduos também aconteceu, reduzindo com isso a amostragem para o período total analisado. Foram mencionadas sete classes de identificação do fuste (CIF), as quais foram: Classe 1 – árvore viva em pé com fuste completo, a maioria dos indivíduos; Classe 2 – árvore viva em pé, sem copa com fuste igual ou maior de 4,0 m de comprimento; Classe 3 - árvore viva em pé, sem copa com fuste menor que 4,0 m de comprimento; Classe 5 – árvore morta por causa natural; Classe 6 – árvore morta por exploração; Classe 8 – árvore colhida (toco de exploração); Classe 9 – árvore não encontrada. Ainda, a

iluminação de copa foi classificada, como: 1 – copa emergente ou completamente exposta à luz, situação predominante nos indivíduos; 2 - copa parcialmente iluminada, ou seja, parcialmente coberta por copas de árvores vizinhas; 3 – copa completamente coberta por copas de árvores vizinhas, recebendo apenas luz lateral ou difusa, situação menos ocorrente; 4 – sem avaliação (árvore sem copa), ocorreu em apenas um sítio. Tanto o CIF quanto a iluminação de copa estão de acordo com SILVA et al. (2005).

Com base na análise dos anéis de crescimento para a modelagem do crescimento de *Hymenaea* pode-se garantir que a espécie consegue incrementar 22 cm em diâmetro (Tabela 10) após 27 anos de monitoramento, considerando o intervalo aproximadamente de 48 cm (diâmetro no início do monitoramento) até 70 cm (diâmetro na última leitura do monitoramento), levando em torno de 48 anos, considerando que a espécie estaria com uma idade média de 93 anos aos 48 cm de diâmetro, por conseguinte, com o diâmetro em torno de 70 cm a espécie conteria aproximadamente 141 anos, e já teria atingido o seu máximo incremento em diâmetro, assim como seu máximo incremento em volume. Como também, pode-se assegurar que a espécie alcança o incremento de 40 cm em diâmetro (Tabela 10) após 34 anos de monitoramento, considerando o espaço aproximado de 24 cm (diâmetro no início do monitoramento) até 65 cm (diâmetro na última leitura do monitoramento), com tempo médio de 76 anos, considerando que a espécie estaria com uma idade média de 53 anos aos 24 cm de diâmetro, e com o diâmetro em torno de 65 cm a espécie conteria aproximadamente 129 anos, e também já teria atingido o seu máximo incremento em diâmetro e em volume. Portanto, vale elucidar que, de acordo com este trabalho realizado com a espécie na área da FLONA Tapajós, a mesma incrementa em média $0,35 \text{ cm.ano}^{-1}$.

Os incrementos e os intervalos de diâmetro utilizados tanto para *Cedrela* quanto para *Hymenaea*, foram os citados no monitoramento das PPs, nessa demonstração acima utilizando a modelagem do crescimento ao longo do tempo pelos anéis de crescimento, pode-se constatar a importância do conhecimento da relação idade e diâmetro considerando todo o ciclo de vida

para cada espécie. Esse conhecimento pode ajudar nos ajustes dos incrementos encontrados pelo monitoramento das PPs.

Mediante as referências acima, pode-se elucidar que as informações obtidas por meio de parcelas permanentes para definição de diretrizes para condução de um povoamento florestal juntamente com as informações do histórico de uma árvore/espécie levantadas a partir dos anéis de crescimento, podem traçar de uma forma mais detalhada e precisa as atividades a serem executadas em uma floresta visando uma maior eficiência no manejo de espécies, e conseqüentemente da floresta.

O crescimento das árvores mais convenientemente mensurado pelo incremento em diâmetro ou pela circunferência é o principal interesse da silvicultura. Para árvores individuais, no entanto, as taxas de crescimento são bastante conservadoras ao longo do tempo, cada incremento sucessivo é semelhante e produz um efeito essencialmente linear no aumento do diâmetro do caule ao longo de muitos anos e as árvores que recebem mais luz alcançam um crescimento melhor. A taxa de crescimento entre as espécies se difere de forma intrínseca (SWAINE et al. 1987). CARVALHO (1997) confirma também que há variação de crescimento entre as espécies, dentro de uma mesma espécie, entre indivíduos, considerando as diferenças nos tamanhos de copas, na sua iluminação e como também a influência dos fatores genéticos.

Tabela 9 - Dados de incremento em diâmetro das espécies *C. odorata* e *H. courbaril* monitoradas nas parcelas permanentes (PPs) pela Universidade Federal do Oeste do Pará na área de manejo florestal do Projeto Ambé, Belterra, PA.

Fonte: Universidade Federal do Oeste do Pará, fev 2017

Espécies	Local	Nº de árvores	Incremento em diâmetro (cm)	Intervalo de medições/ano a contar da 1ª medição	Período monitorado
<i>C. odorata</i>	Unidade de produção anual 6	1	0,96	3	2010 - 2013
	Unidade de produção anual 7	1	0,54	4	2012 - 2016
<i>H. courbaril</i>	Unidade de produção anual 7	2	0,04 – 1,22		
	Unidade de produção anual 10	1	0,74	1	2015 - 2016

Tabela 10 - Dados de incremento em diâmetro das espécies *C. odorata* e *H. courbaril* monitoradas nas parcelas permanentes (PPs) pela Embrapa Amazônia Oriental na área da Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, PA.

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, nov 2017

Espécies	Sítio	Nº de árvores	Incremento em diâmetro (cm)			Intervalo de medições/ano a contar da 1ª medição	Período monitorado	Classes de floresta*
			Mínimo	Máximo	Média			
<i>C. odorata</i>	Km 67 testemunha	1	2,2	7,3	4,8	4;2	2008 - 2014	Floresta em construção
	Km 114 exploradas	5	0,1	31,0	7,4	2;4;2;6;8;5;4	1981 - 2012	Floresta em construção, floresta madura e clareira
<i>H. courbaril</i>	Km 67 T1 e T2	13	0,4	40,1	13,0	1;1;2;2;5;5;10;5;2;1	1981 - 2015	Floresta em construção, floresta madura e clareira
	Km 67 testemunha	14	0,1	9,9	3,6	4;2	2008 - 2014	

Cont. Tabela

Espécie	Sítio	Nº de árvores	Incremento em diâmetro (cm)			Intervalo de medições/ano a contar da 1ª medição	Período monitorado	Classes de floresta*
			Mínimo	Máximo	Média			
<i>H. courbaril</i>	Km 67 T3	5	0,1	5,7	2,6	3;1	2011 - 2015	Floresta em construção, floresta madura e clareira
	Km 114 exploradas	26	0,4	37,4	7,2	2;4;2;6;8;5;4	1981 - 2012	
	Km 114 testemunhas	14	0,1	23,1	3,3	4;2;6;8;5;4	1983 - 2012	
	Jari exploradas	39	1,5	21,8	4,1	2;2;2;4;2;8;7	1984 - 2011	Floresta em construção e floresta madura
	Jari testemunhas	1	0,3	0,5	0,4	2;2;2;4;2;8;7	1984 - 2011	Floresta madura

*Classes de floresta (SILVA et al. 2005)

1- Floresta madura: a subparcela apresenta pelo menos uma árvore com diâmetro igual ou maior que 40 cm.

2- Floresta em construção: a subparcela apresenta pelo menos uma árvore com diâmetro igual ou maior que 10 cm e menor que 40 cm.

3- Clareira: há uma abertura no dossel, de pelo menos 50% da área da subparcela, e poucas ou nenhuma árvore com diâmetro maior que 10 cm presentes na subparcela.

6.2.4. Ciclo de corte e diâmetro mínimo das árvores pelos anéis de crescimento (manejo florestal)

O ciclo de corte médio para as espécies *Cedrela* e *Hymenaea* foi basicamente determinado pelos fatores idade e diâmetro no momento do incremento máximo em volume. Esse ciclo, representou o tempo médio para cada espécie percorrer cada intervalo de classe de diâmetro de 10 cm até atingir o diâmetro mínimo de corte com a idade correspondente, onde ambos culminaram com a taxa máxima de incremento em volume. Percebeu-se que os ciclos médios para uma e outra espécie são bem próximos, porém cada uma de forma individual apresentou o perfil de passagem pelas classes diamétricas de acordo com as fases e os fatores que contribuíram para o seu desenvolvimento (Figura 38). BRIENEN & ZUIDEMA (2006b) estudando o padrão de crescimento de espécies na Amazônia boliviana, dentre elas a *Cedrela*, observaram alta frequência de crescimento (liberação) nas menores classes de diâmetro e baixa frequência de crescimento nas árvores com diâmetros maiores que 40 cm, sendo semelhante ao padrão de crescimento apresentado para a espécie.

SILVA (1997) definiu e diferenciou os termos rotação e ciclo de corte. No caso de florestas, a rotação seria o número de anos decorridos entre a formação ou regeneração de um povoamento e seu corte final; enquanto que, o ciclo de corte seria o período de tempo planejado no qual todas as porções de uma área florestal devem ser cortadas em uma sequência ordenada. A diferença entre os termos seria que, a rotação compreende o tempo médio que um indivíduo de uma determinada espécie leva para crescer desde o estágio de semente até o tamanho final escolhido para o corte; e o ciclo de corte, o comprimento do intervalo de tempo entre dois cortes sucessivos de árvores que alcançaram o tamanho mínimo planejado para o corte. Fazendo uma analogia entre os conceitos de ciclo de corte a diferença principal seria o intervalo de tempo, onde um indica o tempo entre cortes sucessivos e o outro indica o tempo médio para percorrer cada classe diamétrica de 10 cm, sendo que ambas com o mesmo objetivo de atingir o diâmetro mínimo de corte.

Analisando as espécies no âmbito do diâmetro no limite de corte (50 cm), observou-se que a *Cedrela* a partir deste ponto entrou em um processo de

estabilização (senescência), onde seu incremento máximo cessou com uma idade em torno de 250 anos e com um diâmetro aproximado de 65 cm. Enquanto que, a *Hymenaea* considerando essa marca, ainda apresentou sinais de ascendência progressiva, demonstrando com isso o seu crescimento mais cadenciado e característico para a espécie, já mencionado anteriormente, apresentando também longevidade mais dilatada, onde sua taxa de incremento máximo findou com um diâmetro em torno de 105 cm, com uma idade aproximada de 300 anos, indicando para ambas as espécies a variação da idade de acordo com o aumento do diâmetro. A variação intraespecífica nas idades das árvores considerando diâmetros maiores é causada, principalmente pela variação no tempo de passagem delas pelas pequenas classes de tamanho inferiores < 20 cm de diâmetro (BRIENEN & ZUIDEMA, 2006b).

A metodologia GOL proposta por SCHÖNGART (2008) foi utilizada por LÓPEZ & VILLALBA (2015) em 12 espécies do Cerrado Boliviano, o estudo indicou um crescimento baixo e muito variável entre as espécies. Para *Hymenaea courbaril* o tempo para atingir as classes de 10, 20 e 40 cm foram 13, 26 e 62 anos, respectivamente. Enquanto que, para o presente estudo com a mesma espécie, considerando as mesmas classes na mesma ordem foram 29, 46 e 79 anos, provavelmente a diferença atribuiu-se, apesar da mesma espécie, a diferentes locais de crescimento, considerando neste contexto as fases de supressão e de liberação e a competição entre espécies na área. GRANATO-SOUZA et al. (2019) estudando *H. stigonocarpa* no Cerrado definiu um diâmetro mínimo de corte (DMC) de 10,4 cm com idade ao atingir este diâmetro de 24 anos, uma idade bem próxima da encontrada nesta pesquisa, considerando a classe de diâmetro 10 cm para o gênero *Hymenaea*. Ainda LÓPEZ & VILLALBA (2015) sugerem que cada espécie tem um ritmo particular de crescimento e, portanto, necessitam de diretrizes de manejo florestal baseadas em estimativas específicas da espécie em cada região ou bioma.

A legislação vigente para os planos de manejo florestal sustentável nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, considera que o ciclo de corte é o período de tempo, em anos, entre sucessivas colheitas de produtos florestais madeireiros ou não-madeireiros numa mesma

área. Para fins madeireiros, o ciclo de corte inicial é de no mínimo 25 anos e de no máximo 35 anos para os planos de manejo florestal sustentável (PMFS) pleno e de no mínimo 10 anos para PMFS de baixa intensidade. Ficando estabelecido portanto, um ciclo de corte inicial de 35 anos para PMFS pleno com intensidade máxima de corte de $30 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, como também o diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm para todas as espécies. O órgão ambiental competente poderá adotar o DMC por espécie, quando dispor de estudos técnicos realizados na região do PMFS por meio de notas técnicas, que abordem: i - distribuição diamétrica do número de árvores por unidade de área (n/ha), a partir de 10 cm de diâmetro à altura do peito (DAP), resultado do inventário florestal da unidade de manejo florestal (UMF); ii - outras características ecológicas que sejam relevantes para a sua regeneração natural. Ademais, o diâmetro máximo de corte (DmaxC) foi estabelecido, por espécie manejada, que será de 200 cm (628 cm de CAP), objetivando a redução de danos da exploração, capacidade técnica de arraste e transporte, capacidade de processamento (desdobro) e o uso a que se destinam (BRASIL, 2006; SEMAS, 2015).

Considerando o ciclo de corte estabelecido pela legislação vigente, mas especificamente para a área de manejo florestal do Projeto Ambé, 30 anos, como também o diâmetro mínimo de corte de 50 cm, um prognóstico para as espécies *Cedrela* e *Hymenaea* foi baseado a partir da modelagem feita pelos anéis de crescimento. Para *Cedrela* com incremento médio de $0,26 \text{ cm.ano}^{-1}$, no prazo de 30 anos, alcançaria um crescimento médio de 7,8 cm, considerando por exemplo, um diâmetro de 40 cm, tendo em vista que a área já foi explorada e os indivíduos acima de 50 cm já foram retirados, onde o mesmo passaria para 47,8 cm. A mesma situação para *Hymenaea* com incremento médio de $0,35 \text{ cm.ano}^{-1}$ que no período de 30 anos atingiria um crescimento médio de 10,5 cm, que passaria de 40 cm para 50,5 cm. Após 30 anos, as árvores de *Cedrela* e *Hymenaea* com diâmetro de 40 cm atingiriam um crescimento diamétrico acumulado médio de 47,8 e 50,5 cm, na devida ordem. Os valores de diâmetro auferidos nessa situação proposta, mostram nitidamente que o crescimento ocorre diferentemente entre espécies, portanto, a definição de um ciclo de corte precisa ser baseada nesse crescimento, no momento ótimo, juntamente com o tempo ideal para atingi-lo, tudo culminando com o máximo da sua produção.

MAZZEI & RUSCHEL (2014) avaliando o estoque de árvores comerciais para o segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós na área experimental da Embrapa, constataram para *H. courbaril* o seu valor de importância baseado no volume disponível, de acordo com a legislação vigente, para a primeira colheita em 1979 a espécie ocupou o primeiro lugar, enquanto que para a segunda colheita após 35 anos, a sua colocação foi para o 15º lugar, por isso não fazendo parte da lista de espécies a serem exploradas na segunda colheita. Demonstrando com isso, que a referida espécie precisa de um tempo maior para a recuperação do seu estoque remanescente, o que corrobora com o resultado encontrado neste trabalho para a espécie, principalmente em relação ao tempo/idade, no caso de 110 anos, considerando o incremento médio de 0,35 cm.ano⁻¹ para atingir o DMC de 56,84 cm na mesma área da FLONA Tapajós, ou seja, a espécie precisa de um tempo específico além de 35 anos para o seu restabelecimento para uma próxima colheita.

Pela modelagem dos anéis de crescimento para as espécies, relacionando o diâmetro mínimo de corte e a idade média ao atingi-lo (Figura 41) nas diferentes situações a seguir, considerando o incremento máximo em volume, a legislação vigente e o Projeto Ambé, sendo este último especificamente para *Hymenaea*, pode-se observar a estimativa para as espécies, onde a idade média maior (141 anos) foi para *Hymenaea* atingir o DMC de 70 cm, valor utilizado na área de manejo do Projeto Ambé. Enquanto que, para o DMC de 50 cm, legislação vigente, as idades se mantiveram muito próximas para ambas as espécies. E, considerando o incremento máximo em volume tanto as idades como os diâmetros foram diferentes, sendo especificados individualmente, para cada espécie, confirmando que as idades variam com o diâmetro, além do que as espécies estão em um mesmo ambiente, porém a sua dinâmica de crescimento por espécie tem que ser considerada para um efeito mais eficaz no seu manejo. CARVALHO (1997) diz que a compreensão da dinâmica de florestas tropicais e a da complexidade de seus ecossistemas devem ser bem entendidas para o planejamento da utilização sustentada de seus recursos ou de sua conservação.

Figura 41. Relação diâmetro mínimo de corte (DMC) de 36, 50, 57 e 70 cm e idade média para atingi-lo para as espécies estudadas

Ciclo de corte, média de idade e DMC para as espécies em diferentes locais de estudo. Para *H. courbaril*, em Novo Aripuanã, AM, 62,6 cm de DMC e ciclo de corte de 24 anos (ANDRADE, 2015); na Província de Tahuamanu, na região de Madre de Dios, Peru, idade de 82 anos para um DMC de 51 cm, diâmetro utilizado pela legislação local, e 124 anos para um DMC de 70 cm, utilizado pelo plano de manejo da área (CALDERÓN, 2011). Para *C. odorata*, na região de Cajamarca, San Ignacio, Peru, ciclo de corte de 113 anos (MONTALVO & POLLITO, 2014); na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, AM, ciclo de corte de 12 anos, DMC 37,6 cm e idade para atingi-lo de 45 anos (ROSA, 2008); na Província de Tahuamanu, na região de Madre de Dios, Peru, idade média de 126 anos para um DMC de 65 cm para a espécie, de acordo com a legislação local (GUEROVICH, 2011). As diferenças encontradas indicam que as espécies respondem de forma diferenciada ao crescimento de acordo com a disponibilidade de cada ambiente.

SCHULZE et al. (2005) fizeram projeções de um segundo corte para três espécies comerciais da Amazônia, dentre elas a *H. courbaril*, estimando que o volume para a espécie (em percentual) de madeira nesta colheita seria o mesmo extraído na primeira colheita para a mesma área, e seguindo a mesma normativa, em diferentes intervalos de tempo de 30, 60, 90 e 120 anos entre a primeira e a segunda colheita. Portanto, para 30 anos seria de 25%, para 60 seria de 52%, para 90 seria de 61% e para 120 anos seria de 117%. Ainda afirmam que é muito difícil uma espécie em ciclos a cada 30 anos conseguir 90% de indivíduos adultos para colheita. Mais difícil ainda, de acordo com os autores, uma produção sustentada para todas as espécies amazônicas, considerando um mesmo ciclo de corte, ou a mesma intensidade de corte ou até o mesmo tratamento silvicultural após a colheita.

Nas simulações realizadas para um de ciclo de corte (30 anos), diâmetro mínimo (a partir de 45 cm) e intensidade de corte (90% dos indivíduos) com 4 espécies ocorrentes na FLONA Tapajós, dentre elas a *Hymenaea courbaril*, os resultados demonstraram a insustentabilidade de todas as espécies analisadas, mesmo com a exploração planejada e considerando todos os parâmetros supracitados. E, especificamente a *Hymenaea* levaria em torno de 143 anos para recuperar a sua área basal (SEBBENN et al. 2008).

Foi constatado nesta pesquisa, que as espécies se comportam de forma diferenciada em um mesmo ambiente, essas diferenças precisam ser consideradas e conhecidas de forma específica para uma condução adequada a cada espécie garantindo um retorno de fato e efetivo. SCHULZE et al. (2008b) declaram que, para que haja sustentabilidade na visão biológica da exploração madeireira, a capacidade natural das espécies entre os ciclos de corte de se renovar, quer seja por meio do ingresso de novos indivíduos, ou por meio do próprio crescimento, deve ser respeitada. E que, para muitas espécies, mesmo com as classes de cortes praticadas e acordadas com a lei, irão esgotar de forma irreversível as suas populações transformando-as em grupos pobres em diversidade e dominados por espécies pioneiras de crescimento rápido.

A metodologia GOL utilizada para a modelagem do crescimento pelos anéis de crescimento das espécies *Cedrela* e *Hymenaea* foi aplicada em

várias espécies de várzea e de terra firme com resultados promissores para o uso no manejo de acordo com as referências citadas (ANDRADE, 2015; LÓPEZ & VILLALBA, 2015; LEITE, 2016; MIRANDA et al., 2018; DE MIRANDA et al., 2018). Ademais, essa metodologia subsidiou a elaboração da Instrução Normativa nº 009 de 12/11/2010 que dispõe sobre o manejo florestal sustentável em áreas de várzea do estado do Amazonas, especificando o ciclo de corte e diâmetro mínimo para cinco espécies (SEMA, 2010).

Muitas pesquisas já foram e continuam sendo executadas no âmbito do manejo florestal na FLONA Tapajós, destaca-se o acompanhamento das parcelas permanentes realizado a mais de 30 anos na área, com a obtenção de informações importantes e que serviram/servem não somente para o local, como também para outras áreas ainda com dados insuficientes. Aliado a isso, o estudo dos anéis de crescimento elucida a importância do conhecimento sobre o histórico do ciclo de vida de espécies, demonstrado nesta pesquisa, que retorna para a FLONA Tapajós mais informações sobre as espécies estudadas, bem como indica a necessidade desse conhecimento acerca de outras espécies, com o intuito de agregar às pesquisas já existentes, tendo em vista a diversidade de sua área. Conhecer as espécies, acompanhar o povoamento remanescente para recomposição do estoque são ações que já vem sendo realizadas na área da FLONA Tapajós, porém a junção de tudo isso ao estudo dendrocronológico aumentará ainda mais a eficiência para o principal interessado a “floresta”. WORBES (1989, 2002) diz que através da escolha cuidadosa das espécies, local e método, os estudos dendrocronológicos podem ampliar rapidamente e extensivamente o conhecimento sobre o funcionamento dos ecossistemas de florestas tropicais.

A taxa de crescimento em diâmetro, praticamente, é o fator principal considerado para a execução do manejo florestal, a legislação vigente, pauta o ciclo de corte neste crescimento. Porém, o utiliza para todas as espécies sem considerar suas particularidades, para isso, cabe aos pesquisadores e profissionais experientes na área a responsabilidade de demonstrar ainda mais a necessidade de mudança dessa situação, pois a legislação permite que seja feita. SEBBENN et al. (2008) recomendaram modificações no ciclo, diâmetro e

intensidade de corte, elementos que devem ser ajustados para permitir a recuperação da população pós-colheita, considerando parâmetros específicos por espécie, como as características ecológicas, ou melhor o histórico de vida das diferentes espécies madeireiras, tendo com isso, a possibilidade do próximo passo importante na gestão da floresta tropical, essencial para efetivamente manter e conservar o uso das florestas tropicais na Amazônia.

7. CONCLUSÕES

Os anéis de crescimento das árvores de *H. courbaril* e de *C. odorata* são delimitados pelo parênquima marginal e anéis semi-porosos/parênquima marginal, respectivamente. *H. courbaril* em relação a *C. odorata* apresentou uma maior ocorrência de falsos anéis, como também apresentou anéis ausentes e descontínuos.

A idade das árvores de *C. odorata* e de *H. courbaril* analisadas variou de 76 - 239 anos e de 125 - 296 anos, respectivamente.

As árvores de *C. odorata* e de *H. courbaril* mostraram resposta ao crescimento em diâmetro do tronco, com correlação positiva com a precipitação.

A taxas de crescimento médio do diâmetro do tronco das árvores de *C. odorata* e de *H. courbaril* foi de 0,26 cm.ano⁻¹ e 0,35 cm.ano⁻¹, respectivamente.

Utilizando os anéis de crescimento, o diâmetro mínimo de corte (DMC), considerado o diâmetro ideal para o corte, e o ciclo de corte (CC), passagem média de tempo pelas classes de diâmetro a cada 10 cm, para *C. odorata* foi de 36,09 cm e 18 anos, respectivamente, com idade de 64 anos ao atingir o DMC. E, para *H. courbaril* foi de 56,84 cm de DMC e 19 anos de CC, com idade de 110 anos ao atingir o DMC.

A aplicação dos resultados desta pesquisa é remetida principalmente ao Projeto Ambé, considerando que o manejo florestal na área vem sendo desenvolvido desde 2005. Em complementação as atividades pós-exploratórias das unidades de produção, a realização do acompanhamento das árvores remanescentes das espécies estudadas em diferentes classes de diâmetro para a avaliação da idade desses indivíduos, ou seja, a verificação da situação atual envolvendo todos estes parâmetros, para uma projeção futura em relação ao manejo dessas espécies na área.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E.S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. growth rings and vessels. **IAWA Journal**, Vol. 21(1):3-30, 2000.
- ANDRADE, A. **Pisos de madeira**: características de espécies brasileiras, Piracicaba, SP, ANPM, 2015.p. 133-136.
- ANDRADE, V.H.F. **Modelos de crescimento para *Hymenaea courbaril* L. e *Handroanthus serratifolius* (Vahl.) S.O. Grose em floresta de terra firme utilizando análise de anéis de crescimento**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, 2015, 73p.
- AVILA, A.L.; RUSCHEL, A.R.; CARVALHO, J.O.P.; MAZZEI, L.; SILVA, J.N.M.; LOPES, J.C.; ARAÚJO, M.M.; DORMANN, C.F.; BAUHUS, J. Medium-term dynamics of tree species composition in response to silvicultural intervention intensities in a tropical rain forest. **Biological Conservation**. 191, 2015.p.577-586.
- BAITZ, W.; PEREIRA, D.; LENTINI, M. **O setor madeireiro da Amazônia brasileira**, p. 89-104. In: BENSUSAN, N.; ARMSTRONG, G. O manejo da paisagem e a paisagem do manejo. Instituto Internacional de Educação do Brasil. Brasília, 2008, 300p.
- BARBOSA, A.C.M.; PEREIRA, G.A.; GRANATO-SOUZA, D.; SANTOS, R.M.; FONTES, M.A.L. Tree rings and growth trajectories of tree species from seasonally dry tropical forest. **Australian Journal of Botany**. <https://doi.org/10.1071/BT17212>, 2018, 14p.
- BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDEAL, E.; UHL, C. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, 108, 1998, p.9-26.
- BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. 2002. Modification of vegetative phenology in a tropical semideciduous forest by abnormal drought and rain. **Biotropica** 34(1):27–39.

- BOTOSSO, P. C., VETTER, R. E., TOMAZELLO-FILHO, M. 2000. **Periodicidade e taxa de crescimento de árvores de cedro** (*Cedrela odorata* L., Meliaceae), **jacareuba** (*Calophyllum angulare* AC Smith, Clusiaceae) **e muiirapiranga** (*Eperua bijiga* Mart. ex Benth, Leg. Caesalpinioideae) **de floresta de terra firme, em Manaus-AM**, p.357-380. In: ROIG, A.F. (Ed.). Dendrocronologia em América Latina. Mendoza: EDIUNC, 2000, 434p.
- BOTOSSO, P.C.; MATTOS, P.P. Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação. Documentos 75, EMBRAPA Florestas, Colombo-PR, 2002, 25p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº07** de 22 de Agosto de 2003. Considerando ainda a necessidade de adequar os procedimentos relativos às atividades de Plano de Manejo Florestal Sustentável que contemplem a exploração da espécie mogno (*Swietenia macrophylla* King.) DOU, nº 164, p.47.Disponível em:<http://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/arquivos/in_ibama_07_03.pdf>.
- Acesso em: abril 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa nº05** de 11 de Dezembro de 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo florestal Sustentável-PMFSs nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. DOU, seção 1 nº238, p. 155-159.
- BRIENEM, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, 146, 2005, p. 1-12.
- BRIENEM, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest, Ecology and Management**, 226, 2006a, p. 256-267.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 2, p. 481–493, mar. 2006b.
- BRIENEN, R. J.; ZUIDEMA, P. A. Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 6, p. 302–306, 2007.

- BRIENEM, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A; SCHÖNGART, J. Tree rings in the tropics: insights into the ecology and climate sensitivity of tropical species. **Tree Physiology**, v.6, p. 439-461, 2016.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 153p. 1991.
- CALDERÓN, C. I. H. **Dendrocronología de árboles de azúcar huayo (*Hymenaea courbaril* L.) en la región Madre de Dios (Distrito de Tahuamanu) - Perú**. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae. Escuela de Postgrado Especialidad en Bosques y Gestion de Recursos Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2011, 153p.
- CAMPOS, J.C.C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das plantas. **Revista Floresta**, Curitiba, V.2, nº 3, 1970, p. 45-52.
- CARLQUIST, S. Comparative wood anatomy. Springer series em wood science. 1988, 436p.
- CARVALHO, J.O.P. **Fenologia de espécies florestais de potencial econômico que ocorrem na Floresta Nacional do Tapajós**. Belém, Boletim de pesquisa nº20, EMBRAPA/CPATU, 1980. 15p.
- CARVALHO, J.O.P. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. IN: Curso de manejo florestal sustentável - Tópicos em manejo florestal sustentável. Colombo: EMBRAPA-CNPFF, Documentos 34, 1997, p. 43-55.
- CARVALHO, J.O.P. Estrutura de matas altas sem babaçu na Floresta Nacional do Tapajós. In: SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P.; YARED, J.A.G. (Ed.) **A silvicultura na Amazônia Oriental**: contribuições do projeto Embrapa/DFID. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/DFID, 2001. p. 277-290.
- CARVALHO, J.O.P.; SILVA, J.N.M.; LOPES, J.C.A. Growth rate of a terra firme forest in brazilian Amazonia over na eight-year period in response to logging. Manaus, **Acta Amazonica**, vol.34(2), 2004. p. 209-217.
- CECCANTINI, G.; GAMBOA, C.S.; SCHÖNGART, J.; IWASAKI-MAROCHI, C. **Os anéis de crescimento das árvores desvendando as mudanças climáticas**. Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil: dimensão botânica. 2008. p. 5-23.

- COOK, E. R.; HOLMES, R. L. Arstan: Guide for computer program Arstan. Adapted from Users Manual for Program Arstan, in Tree-Ring Chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern great Basin. **Chronology development, statistical analysis**, 1995, 9p.
- CORADIN, V.T.R.; BOLZON, G.I.M. **Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira**: I. Angiospermae II. Gimnospermae. Brasília: LPF. Série técnica nº15. 19p. 1991.
- CORADIN, V.T.R.; CAMARGOS, J.A.A.; PASTORE, T.C.M.; CHRISTO, A.G. **Madeiras comerciais do Brasil**: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos = **Brazilian commercial timbers**: interactive identification key based on general and macroscopic features. Serviço florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais: Brasília, 2010. CD-ROM.
- COSTA, D.H.M.; SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P. Crescimento de árvores em uma área de terra firme na Floresta Nacional do Tapajós após colheita de madeira. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, nº50, 2008, p. 63-76.
- COSTA, M.S. **Dinâmica de crescimento de *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) na Floresta Atlântica do estado do Rio de Janeiro: fenologia, atividade cambial e dendrocronologia**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011, 70 p.
- CUNHA, T. A., FINGER, C. A. G., 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.
- CHAGAS, M.P.; MOUTINHO, V.H.P.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA, R. Estudos dendrocronológicos em árvores de *Cedrela odorata* L. IN: **Distrito florestal sustentável da BR-163**: dinâmicas socialismo mudanças ambientais e produção florestal, Belém, MPEG, 2015, p. 315-324.
- CNCFlora. *Hymenaea courbaril* in Lista vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Hymenaea%20courbaril>>. Acesso em: 18 de mai.2016.

- CNCFlora. *Cedrela odorata* in Lista vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cedrela%20odorata>>. Acesso em: 18 de mai.2016.
- DE MIRANDA, D.L.C.; HIGUCHI, N.; TRUMBORE, S.E.; LATORRACA, J.C.F.; CARMO, J.F.; LIMA, A.J.N. Using radiocarbon-calibrated dendrochronology to improve tree-cutting cycle estimates for timber management in southern Amazon forests. **Trees**, 32, 2018, p. 587-602.
- DUBOIS, J.L.C. **Preliminary forest management guidelines for the National Forest of Tapajós**. Belém: IBDF/PRODEPF, 1976. 24p.
- DÜNISCH, O.; BAUCH, J.; GASPAROTTO, L. 2002. Formation of increment zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* and *Cedrela odorata* (Meliaceae). **IAWA Journal** 23(2): 101-119.
- DÜNISCH, O.; MONTÓIA, V. R.; BAUCH, J. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees** 17(3): 244-250.
- ESPINOZA, M.J.P.; GUILLEN, G.J.I.; MORALES, M.S.; ARISMÉNDIZ, R.R. **Potencialidad de *Cedrela odorata* (Meliceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú**. Rev. Biol. Trop. Vol.62(2): 783-793, June 2014.
- FAHN, A., 1988. Secretory tissues and factors influencing their development. **Phyton** 28, 13-26.
- FERRI, M.G. **Ecologia geral**. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia. 1980. 71p.
- FRITTS, H.C., 1976. **Tree Rings and Climate**. Academic Press, London. p. 567.
- FRITTS, H.C., Growth-rings of trees: their corralation with climate, **Science** 154(3752), 1966, p. 973-979.
- GANDOLFI, S.; LEITÃO FILHO, H.F.; BEZERRA, C.L.F. Levantamento florsítico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta mesófila semidecídua no município de Guarulhos, SP. **Rev. Brasil. Biol.**, 55 (4): 753-767, 1995.

- GODOY-VEIGA, M.; CECCANTINI, G.; PITSCH, P.; KROTTENTHALER, S.; ANHUF, D.; LOCOSSELLI, G.M. Shadows of the edge effects for tropical emergent trees: the impact of lianas on the growth of *Aspidosperma polyneuron*. **Trees** (32), p. 1073 – 1082, 2018.
- GUEROVICH, A. S. **Dendrocronología del cedro *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) de la Amazonia sur del Perú, la región Madre de Dios**. Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae. Escuela de Postgrado Especialidad en Bosques y Gestion de Recursos Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2011, 147p.
- GRANATO-SOUZA, D.; STAHL, D.W.; BARBOSA, A.C.; FENG, S.; TORBENSON, M.C.A.; PEREIRA, G.A.; SCHÖNGART, J.; BARBOSA, J.P.; GRIFFIN, D. Tree rings and rainfall in the equatorial Amazon, **Climate Dynamics**, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4227-y>
- GRANATO-SOUZA, D.; BARBOSA, A. C. M. C.; CHAVES, H. F. Drivers of growth variability of *Hymenaea stigonocarpa*, a widely distributed tree species in the Brazilian Cerrado. **Dendrochronologia** 53, 2019, p.73-81.
- GRISSINO-MAYER, H.D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program covecha. **Tree-ring Research**, Vol. 57 (2), 2001, p. 205-221.
- GROGAN, J.; VIDAL, E.; SCHULZE, M. Apoio científico para os padrões de manejo de madeira na floresta Amazônica: a questão da sustentabilidade. **Ciência e Ambiente**, 2006, p. 103-117.
- HIETZ, P. A simple program to measure and analyse tree rings using Excel, R and SigmaScan. **Dendrochronologia** (29), p. 245–250, 2011.
- HÖLL, W. Seasonal fluctuation of reserve materials in the trunk wood of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). **Journal Plant Physiology**, Stuttgart, v. 117, p. 355 - 362, 1985.
- HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-ring Bulletin**, 43, 1983, p.69-78.
- IAWA Committee. IAWA **List of microscopic features for hardwood identification**. IAWA Bulletin n.s. 10 (3): 219-332. 1989.
- IBAMA. **Plano de Manejo**: Floresta Nacional do Tapajós. Vol I – Informações gerais. 2004, 580p.

- ICMBio. **Mapa de Zoneamento da Floresta Nacional do Tapajós**. Sistema de coordenadas geográficas DATUM horizontal SAD 69, Fuso 21, Imagem LANDSAT 7 ETM + de 2001 e 2002 nas órbitas_pontos 227/62 e 227/63: Ano 2004.
- ICMBio. **Mapa da Floresta Nacional do Tapajós**. Sistema de coordenadas geográficas DATUM horizontal SIRGAS 2000, Imagem LANDSAT 227/62 e 227/63: Ano 2010.2012.
- INGA, J.G.; DEL VALLE, J.I. Log-relative growth: A new dendrochronological approach to study diameter growth in *Cedrela odorata* and *Juglans neotropica*, Central Forest, Peru. **Dendrochronologia** 44, 2017, p.117-129.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados meteorológicos 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- KRIBS, D.A. **Commercial foreign woods on the American market**. Buckhout Laboratory, Department of Botany, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, 1959, p.83 e 107.
- LEÃO, N.V.M.; OHASHI, S.T.; FREITAS, A.D.D.; NASCIMENTO, M.E.S.M.; SHIMIZU, E.S.C.; REIS, A.R.S.; GALVÃO FILHO, A.F.; SOUZA, D. **Colheita de sementes e produção de mudas de espécies florestais nativas**. Documentos 374, EMBRAPA, Belém, 2011. p.1-52.
- LEITE, P.T.P.; TOMAZELLO, M.F.; MORELLATO, L.P.C. 2016. Management of cerrado trees using growth rings. **Aust. J. Basic Appl. Sci.** 10, p. 92–103.
- LIMA, R.B.A.; SILVA, J.A.A.; MARANGON, L.C.; FERREIRA, R.L.C.; SILVA, R.K.S. Sucessão ecológica de um trecho de floresta ombrófila densa de terras baixas, Carauari, Amazonas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, nº67, 2011, p. 161-172.
- LISI, C. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; ROIG, F. A.; MARIA, V. R. B.; FEDELE, L. F.; VOIGT, A. R. A. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. **IAWA Journal**, v. 29, n. 2, p. 189–207, 2008.

- LOCOSSELLI, G.M. **Análise integrada de dendrocronologia, anatomia e isótopos estáveis de carbono de duas espécies de jatobá (*Hymenaea*, LEGUMINOSAE) para identificação de possíveis efeitos da elevação do CO₂ atmosférico e mudanças climáticas.** Dissertação (Mestrado). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, 2010, 91p.
- LOCOSSELLI, G.M.; BUCKERIDGE, M.S.; MOREIRA, M.Z.; CECCANTINI, G. 2013. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp., Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. **Trees, Structure and Functions**, 27: 25-36.
- LOCOSSELLI, G.M.; SCHÖNGART, J.; CECCANTINI, G. 2016. Climate/growth relations and teleconnections for a *Hymenaea courbaril* (Leguminosae) population inhabiting the dry forest on karst. **Trees, Structure and Functions**, 30: 1127-1136.
- LÓPEZ, L.; VILLALBA, R.; BRAVO, F. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. **Forest Ecology and Management**, 292, pp.49–55. 2013.
- LÓPEZ, L; VILLALBA, R. Criterios de gestión forestal para 12 especies de los Bosques Nativos Tropicales de Bolivia através de métodos dendrocronológicos. **Ecosistemas** 24(2), 2015, p. 24-29.
- LÓPEZ, L; VILLALBA, R. Reliable estimates of radial growth for eight tropical species based on wood anatomical patterns. **Journal of Tropical Forest Science** 28(2), 2016, p. 139-152.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Vol. 2. 4ª edição. 2013. p.245.
- LORIMER, C.G.; DAHIR, S.E.; SINGER, M.T. Frequency of partial and missing rings in *Acer saccharum* in relation to canopy position and growth rate. **Plant Ecology**, 143, 1999, p.189-202.
- LOTFIOMRAN, N.; KÖHL, M. 2017. Retrospective analysis of growth a contribution to sustainable forest management in the tropics. **IAWA Journal** 38(3): 297-312.

- MATOS, P.P.; BRAZ, E.M.; HESS, A. F.; SALIS, S.M. **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais**. Colombo: EMBRAPA Florestas, Documentos 218; Corumbá: EMBRAPA Pantanal, Documentos 112. 2011.
- MAZZEI, L.; RUSCHEL, A. Estoque comercial para o segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós – área experimental km 67 – EMBRAPA, p. 161-166. In: Anais do II Seminário de Pesquisa Científica da Floresta Nacional do Tapajós. Santarém-PA: Floresta Nacional do Tapajós/ICMBio, 2014, 304p.
- MEKDECE, F.S.; ALMEIDA, E.C.; RAYOL, B.P. **Manual de sementes florestais do oeste do Pará: coleta, beneficiamento e análise**. Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas, Laboratório de Sementes Florestais, Santarém-PA, 2013.
- MELO, M.G.G.; MENDES, A.M.S. REDE DE SEMENTES DA AMAZÔNIA: *Jatobá Hymenaea courbaril* L. Informativo técnico nº9, versão online ISSN 1679-8058, 2005.
- MIRANDA, Z.P.; GUEDES, M.C.; ROSA, S.A.; SCHÖNGART, J. Volume increment modeling and subsidies for the management of the tree *Mora paraensis* (Ducke) based on the study of growth rings. **Trees**, 32, 2018, p. 277-286.
- MONTALVO, V.B. & POLLITO, P.A.Z. **Determinación del turno de corta de *Cedrela odorata* L., *Retrophyllum rospigliosii* Pilger y *Prumnopitys harmsiana* Pilger através del estudio dendrocronológico en San Ignacio, region Cajamarca-Perú**. EL CEPROSIMAD. 02(2), 2014, p. 33-47.
- MOUTINHO, V.H.P.; CHAGAS, M.P.; KANASHIRO, M.; BRIENZA JÚNIOR, S.; TOMAZELLO FILHO, M. Estudo preliminar da anuidade dos anéis de crescimento em árvores de espécies ocorrentes na região do Tapajós, PA. IN: **Distrito florestal sustentável da BR-163: dinâmicas sociais, mudanças ambientais e produção florestal**, Belém, MPEG, 2015, p. 309-313.
- OLIVEIRA, F.C.; LEÃO, N.V.M. Fenofases reprodutivas de cinco espécies da família leguminosae que ocorrem na floresta nacional do Tapajós, PA. **Simpósio Silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa/DFID**, Resumos expandidos, Belém, 1999, p. 79-82.

- ROSA, S.A. **Modelos de crescimento de quatro espécies madeireiras de floresta de várzea da Amazônia Central por meio de métodos dendrocronológicos.** Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 2008, 77p.
- SABOGAL, C.; POKORNY, B.; SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P.; ZWEEDE, J.; PUERTA, R. Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia Brasileira. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 2009, 217p.
- SEBBENN, A.M.; DEGEN, B.; AZEVEDO, V.R.; SILVA, M.B.; LACERDA, A.E.B.; CIAMPI, A.Y.; KANASHIRO, M.; CARNEIRO, F.S.; THOMPSON, I.; LOVELESS, M.D. Modelling the long-term impacts of selective logging on genetic diversity and demographic structure of four tropical tree species in the Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, 254, 2008, p.335-349.
- SEMAS. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Belém, **Instrução normativa nº05** de 10 de setembro de 2015. DOE 32969 de 11/09/2015. p.37-57.
- SEMAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Manaus, **Instrução normativa nº009** de 12 de novembro de 2010.
- SFB. Serviço Florestal Brasileiro. Laboratório de Produtos Florestais. Database of Brazilian Woods. Disponível em: <<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/>>. Acesso em: 24 de set.2018.
- SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C.; CARVALHO, M. S. P. Equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n 8/9, 1984, p.50-63.
- SILVA, J. N. M. Manejo de florestas de terra-firme da Amazônia brasileira. IN: Curso de manejo florestal sustentável - Tópicos em manejo florestal sustentável. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, Documentos 34, 1997, p. 59-96.
- SILVA, J.N.M.; LOPES, J.C.A.; OLIVEIRA, L.C.; SILVA, S.M.A; CARVALHO, J.O.P; COSTA D.H.M.; MELO, S.M. TAVARES, M.J.T. Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005.11p.

- SCHÖNGART, J.; WITTMANN, F.; WORBES, M.; PIEDADE, M. T. F.; KRAMBECK, H.; JUNK, W. J. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. **Ann. For. Sci.**, 64, 2007, p.657-664.
- SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian floodplains. **Forest Ecology and Management**, 256, 2008, p. 46-58.
- SCHULZE, M.; ZWEEDE, J. **Canopy dynamics in unlogged and logged forest stands in the eastern Amazon**. Chapter 2, Ecology and behavior of nine timber tree species in Pará, Brazil: links between species life history and forest management and conservation, Thesis in Botany, 2003, 371p.
- SCHULZE, M.; VIDAL, E.; GROGAN, J.; ZWEEDE, J.; ZARIN, D. Madeiras nobres em perigo: práticas e leis atuais de manejo florestal não garantem a exploração sustentável, 2005, Ciência Hoje, Vol.36, nº 214, p. 66-69.
- SCHULZE, M.; GROGAN, J.; LANDIS, R.M.; VIDAL, E. How rare is too rare to harvest? Management challenges posed by timber species occurring at low densities in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, 256, 2008a, p. 1443-1457.
- SCHULZE, M.; GROGAN, J.; VIDAL, E. **O manejo florestal como estratégia de conservação e desenvolvimento socioeconômico na Amazônia**: quanto separa os sistemas de exploração madeireira atuais do conceito de manejo florestal sustentável? p. 163-213. In: BENSUSAN, N.; ARMSTRONG, G. O manejo da paisagem e a paisagem do manejo. Instituto Internacional de educação do Brasil. Brasília, 2008b, 300p.
- SCHWEINGRUBER, F.H.; KAIRIUKSTIS, L.; SHIYATOV, S. **Sample selection**. In: Chapter 2 Primary data, p.22-35, Methods of dendrochronology: applications in the environmental science, editors E. Cook and L. Kairiukstis, 1989, 394p.
- SFB. Portal nacional de gestão florestal. Serviço Florestal Brasileiro. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/pngf/manejo-florestal/apresentacao>>. Acesso em: 17 de dez. 2016.
- SMAC. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Manual de identificação de mudas de espécies florestais**. Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, 2ª edição, 2013, p.1-122.

- STUDHALTER, R.A.; GLOCK, W.S.; AGERTER, S.R. **The botanical review**: tree growth. V.29, nº3, 1963, p.246-365.
- SWAINE, M.D.; LIEBERMAN, D.; PUTZ, F.E. The dynamics of tree populations in tropical forest: a review. **Journal of Tropical Ecology**, Vol. 3, 1987, p. 359-366.
- TOMAZELLO FILHO, M.; CHIMELO, J.P.; GARCIA, P.V. **Madeiras de espécies florestais do estado do Maranhão**: II – Caracterização anatômica. IPEF, nº 23, p. 29-36. 1983.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C.S. **Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais**, p. 381-431. In: ROIG, A.F. (Ed.). Dendrocronologia em América Latina. Mendoza: EDIUNC, 2000, 434p.
- TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C.S. **Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais**: dendrocronologia e dendroclimatologia, p. 117-140. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARELLA, W. Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. Univ. Pontifica Comillas, 2001, 285p.
- TREVIZOR, T.T. **Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência natural na floresta tropical Amazônica no estado do Pará**. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/ Universidade de São Paulo, 2011, 217p.
- TREVIZOR, T.T.; MOUTINHO, V.H.P.; KANASHIRO, M.; ILKIU, F.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização anatômica do lenho e potencial da dendrocronologia aplicada às espécies tropicais. IN: **Distrito florestal sustentável da BR-163**: dinâmicas sociais, mudanças ambientais e produção florestal, Belém, MPEG, 2015, p. 291-308.
- VELOSO, H.P.; RANGEL, FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1991. 123p.
- VERONA, J.D.; SHIMABUKURO, Y.E. **Classificação da cobertura vegetal da região norte da FLONA do Tapajós utilizando a segmentação de imagens-fração**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia-GO, INPE, 2005. p. 1685-1689.

- VETTER, R.E. **Growth periodicity and age of Amazonian tree species. Methods for their determination**, p. 135-155. In: ROIG, A.F. (Ed.). *Dendrocronologia em América Latina*. Mendoza: EDIUNC, 2000, 434p.
- VIEIRA, L.S. *Manual da ciência do solo: com ênfase aos solos tropicais*. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 2ª edição, 1988, 464p.
- VIEIRA, S. A. **Mudanças globais e taxa de crescimento arbóreo na Amazônia**. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/Universidade de São Paulo, 2003, 133p.
- VIEIRA, S. A.; TRUMBORE, S.; CAMARGO, P.B.; SELHORST, D.; CHAMBERS, J.Q.; HIGUCHI, N.; MARTINELLI, L.A. **Slow growth rates of Amazonian trees: consequences for carbono cycling**. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 102, n. 51, 2005, p. 18502-18507.
- VIDAL, E.; WEST, T.A.P.; PUTZ, F.E. Recovery of biomass and merchantable timber volumes twenty years after conventional and reduced-impact logging in Amazonian Brazil. **Forest Ecology and Management**, 376, 2016, p.1-8.
- WESTBROOK, J. A.; GUILDERTSON, T. P.; COLINVAUX, P. A. 2006. Annual growth rings in a sample of *Hymenaea courbaril*. **Iawa Journal**, 27(2), 193-197.
- WILMKING, M.; HALLINGER, M.; VAN BOGAERT, R.; KYNCL, T.; BABST, F.; HAHNE, W.; JUDAY, G.P.; DE LUIS, M.; NOVAK, K.; VÖLLM, C. Continuously missing outer rings in woody plants at their distributional margins. **Dendrochronologia**, 30, 2012, p.213-222.
- WORBES, M. **Site and sample selection in tropical forests**. In: Chapter 2 Primary data, p.35-40, *Methods of dendrochronology: applications in the environmental science*, editors E. Cook and L. Kairiukstis, 1989, 394p.
- WORBES, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. **IAWA Journal**, v. 16, n. 4, p. 337-351.
- WORBES, M.; JUNK, W.J. How old are tropical trees? The persistence of a myth. **IAWA Journal**, 20, 1999, p.255-260.
- WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo forest reserve in Venezuela. **The Journal of Ecology**, Vol. 87, N° 3, 1999, p. 391-403.

WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges, **Dendrochronologia**, 20, 2002, p.271-231.

WORBES, M. **Tree-ring analysis**. University of Göttingen, Germany. Elsevier Ltd. All Rights Reserved. 2004.

ZIMMERMAN, B.L.; KORMOS, C.; Prospects for sustainable logging in tropical forests. **BioScience**, vol.62, nº5, 2012, p. 479-487.