Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Dendrocronologia das árvores de *Copaifera duckei* Dwyer em florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia Oriental

Alinne Santos da Silva

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

Piracicaba
2020

Alinne Santos da Silva
Engenheira Florestal

Dendrocronologia das árvores de copaíba *Copaifera duckei* Dwyer em florestas manejadas e sob e exploração convencional na Amazônia Oriental

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2020

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

Silva, Alinne Santos da

Dendrocronologia das árvores de *Copaifera duckei* Dwyer em florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia Oriental / Alinne Santos da Silva. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011 - Piracicaba, 2020.

93 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Anéis de crescimento 2. Amazônia 3. Manejo . I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais: Geraldo e Lúcia

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, sempre, agradeço ao meu Deus que, que em sua infinita bondade e misericórdia, e amor imensurável, concedeu-me a o dom da vida; por ter me sustentado até aqui.

Agradeço aos meus pais, Maria Lúcia e Geraldo, pelo suporte emocional e muitas vezes financeiro, e principalmente, por terem abdicado de qualquer luxo que poderiam ter para proporcionar uma boa educação para mim e aos meus irmãos. Nada do que fizermos vai chegar perto do que vocês dois fizeram e ainda fazem por nós.

Aos meus irmãos Alda, Ize, Thiago e Dhiego, por serem exemplos a serem seguidos, e pelo apoio em todos os sentidos nessa caminhada acadêmica e de vida.

Aos meus cunhados e cunhadas por fazarem meus irmãos felizes, e pelos meus sobrinhos lindos: João, Davi e Pedro, que sem dúvida, serão homens incríveis nesse mundo.

À minha amiga Dayana KSil por todo apoio em São Paulo, e por ser, por anos, minha válvula de escape do mundo real. Alguém que marca você em “memes” é sempre alguém importante para ter por perto!

À minha amiga e *partner in crime* que se tornou minha família nessa cidade: Deborah Rodrigues. Obrigada pelos momentos de risadas, brigas, comidas, conselhos (que na maioria das vezes eu não pedia), passeios e cafés intermináveis. Que bom que a gente se encontrou!

Ao meu amigo Pedro Paulo Magno (a.k.a PP) por toda ajuda nas minhas imagens e apoio emocional quando precisei.

Ao meu orientador, Mario Tommassielo Filho, pela oportunidade de orientação, apoio e ensinamentos nesse período.

Ao meu co-orientador, Peter Groenendijk, que sempre se fez presente nos meus trabalhos, se mostrando mais que um professor, mas um amigo para todas as horas.

Aos queridos Aparecido e Maria pela incansável ajuda nos meus materiais e pelo exemplo de profissionais. Obrigada pelas conversas divertidas!

Ao professor Edson Vidal pela oportunidade de campo para esta dissertação, apoio, e pelo conhecimento transmitido.

À professora Rosebelly Nunes pela oportunidade de estágio e por transformar vidas através da educação. É o que o mundo precisa, e você faz muito bem.

Aos amigos de laboratório que me fizeram sentir em casa e nunca hesitaram em me ajudar em qualquer situação: Ricardo Ortega, Manolo Trindade, Luiz Santini, Alessandra Voight (

a quem vale um agradecimento mega especial por ter cuidado da Gohan quando eu não podia), Luciana Karla, Fernanda Guedes, Roger Chambi Alci Albiero, Julia Lobo, Caroline Americo, Rosane, Francisco Figueiredo, Gabi Ravo, Claudio, Mariana Pires. Sem dúvida agora nossa ligação é para sempre!

À minha querida estagiária (e já quase graduada engenheira florestal enquanto escrevo isso), Mariana Risso, por ter me auxiliado nas análises. Muito obrigada!Você é incrível e vai longe! Sorte de todo laboratório que tiver a sua ajuda.

Ao meu biólogo favorito: Pedro. Um estagiário que sabe fazer café e ser parceiro como ninguém. A dendrocronologia só ganhou com você!

À todos os estagiários do LAIM que sempre se dedicaram muito para nos auxiliar.

À Giovana, que sem ela, nenhum pós-graduando do PPGRF vive.

À todos da vila da pós-graduação que me receberam muito bem nestes últimos meses como vizinha.

À todos os amigos que fiz na ESALQ/USP pela amizade, companheirismo, conhecimentos e saídas nos fins de semana, claro.

Aos amigos que fiz na UNICAMP, principalmente Isabella, Victor, Roberto e Tom pela sempre disposição em me ajudar no campo e em laboratório; pela troca de conhecimento e trocadilhos.

À minha companheirinha de vida que chegou pra mim de forma tão linda e inusitada: Gohan. Sei que ela é uma gata e não lê, mas sente meu amor todos os dias, e convenço-me que é recíproco.

A todos meus amigos de Belém, Piracicaba, São Paulo e demais cidades que conheci que, mesmo longe, sempre fizeram-se presente! Não seria tão bom e divertido sem a ajuda de vocês!

À CAPES pelo auxílio financeiro fornecido neste projeto

E a todos, que de forma direta e indireta, contribuiram para minha formação pessoal e profissional. Nada disso teria acontecido sem os conselhos, suporte e orações de vocês. Meu eterno amor e gratidão.

Que a força esteja com a gente!

Alinne Santos da Silva

“Girls aren't very good at keeping maps in their brains", said Edmund. "That's because we've got something in them", replied Lucy.”

C.S Lewis – The Chronicles of Narnia

SUMÁRIO

RESUMO 9
ABSTRACT 10
LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS 11
1. INTRODUÇÃO 13
2. OBJETIVOS 15
2.1 Geral 15
2.2 Específicos 15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁGICA 17
3.1 Florestas tropicais 17
3.2 Exploração florestal 18
3.2.1 Tipos de exploração 20
3.2.2 Plano de manejo florestal sustentável para a produção de madeira 22
3.3 Crescimento das árvores 23
3.4 Dendrocronologia 25
3.5 Dendrocronologia e o manejo florestal 27
3.6 Densitometria por raios x 29
3.7 *Copaifera duckei* 30
3.7.1 Características Dendrológicas 32
4. MATERIAL E MÉTODOS 35
4.1. Local de estudo 35
4.1.2 Área de coleta 36
4.2 Histórico da área de estudo 37
4.3 Seleção da espécie 38
4.4 Valores diamétricos anuais pelos DAP do inventário florestal 38
4.5 Coleta das amostras de lenho 38
4.6 Variação radial por densitometria de raios x 40
4.7 Caracterização e aplicação da análise dos anéis de crescimento 42
4.7.1 Construção das séries de largura dos anéis de crescimento 43
4.7.2 Análise das curvas de crescimento e incrementos do lenho pelos anéis de crescimento 45
4.8 Crescimento em diâmetro do tronco das árvores 47
4.9 Variação radial da densidade do lenho 47
4.10 Construção das séries 47

4.11 Identificação anatômica 47
4.11.1 Macroscópica 47
4.11.2 Microscópica 48
4.12 Coleta dos dados ambientais 49
4.13 Análise estatística 49
5. RESULTADOS 51
5.1 Caracterização anatômica 51
5.2 Crescimento em diâmetro: Anéis de crescimento *versus* Inventários florestais 52
5.3 Variação radial da densidade do lenho 54
5.4 Curvas de crescimento 57
5.5 Análise dendrocronológica 58
5.5.1 Construção das séries 58
5.5.2 Correlação dos anéis de crescimento do lenho com variáveis climáticas 61
6. DISCUSSÃO 67
6.1 Identificação anatômica 67
6.2 Crescimento em diâmetro do tronco das árvores 67
6.2 Variação radial da densidade do lenho 69
6.3 Curvas de crescimento 71
6.4 Análises dendrocronológicas 74
6.4.1 Correlação dos anéis de crescimento com variáveis climáticas 74
6.4.1 Situação 1: Antes da exploração madeireira (1960-1992) 76
6.4.2 Situação 2: Após exploração madeireira (1993-2017) 77
7. CONCLUSÕES 79
8. CONSIDERAÇÕES 81
REFERÊNCIAS 82

RESUMO

Dendrocronologia das árvores de *Copaifera duckei* Dwyer em florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia Oriental

Conhecer sobre o crescimento das árvores é de extrema importância para o manejo florestal, especialmente seu crescimento em espessura que traz informações para estimar seu incremento ao longo dos anos que, através dos anéis de crescimento das árvores, podem estimar um valor mais apurado que os mensurados na floresta de forma habitual. Este trabalho teve como objetivo estudar a espécie *Copaifera duckei* Dwyer nos seus atributos dendrocronológicos, de densidade e anatômicos gerando visar conhecimento sobre a dinâmica do crescimento desta espécie em duas áreas que sofreram exploração madeireira no ano de 1993, sendo uma de impacto reduzido e outra convencional, e uma área sem exploração; todas vêm sendo monitoradas há 25 anos. Foram selecionadas 41 árvores e coletadas em média três raios de cada utilizando uma sonda Pressler. As amostras passaram por secagem natural, cortes, polimento mecânico, e cortes anatômicos. Após a delimitação dos anéis de crescimento pelo programa Windendro, para verificar a sua sincronização, foram utilizados os programas estatísticos Cofecha e Arstan. Para a modelagem do crescimento foi utilizado o programa CurveExpert. Os anéis de crescimento foram analisados para apontar efeitos da sazonalidade climática da região para a determinação de influência de variáveis climáticas de precipitação e temperatura em espécies tropicais e influência da exploração madeireira sofrida, presença de cipós e cobertura da copa, além do incremento acumulado no lenho das árvores. Os resultados indicaram que a *C.duckei* tem ótimo potencial dendrocronológico confirmado pela sua elevada correlação de largura dos anéis de crescimento entre as árvores e correlações positivas com as variáveis climáticas analisadas em todos os períodos de tempo, principalmente com a precipitação. Anéis de crescimento delimitados por parênquima marginal. Densidade aparente média de 0.87 g.cm³, 0.85 g.cm³ e 0.86 g.cm³, incremento médio anual de 0.26 cm, 0.20 cm e 0.27 cm, e variação de idade de 46 a 84 anos, 25 a 91 anos e 33 a 75 anos, nos tratamentos de impacto reduzido, convencional e sem exploração, respectivamente, além de diferenças significativas entre as mensurações por fitas métricas e por anéis de crescimento, e influência da luminosidade e presença de lianas no crescimento das árvores.

Palavras-chave: Anéis de crescimento, Amazônia, Manejo

ABSTRACT

Dendrochronology of *Copaifera duckei* Dwyer trees in managed forests and under conventional logging in the Eastern Amazon

Knowing about tree growth is extremely important for forest management, especially its growth in thickness, which provides information to estimate its growth over the years that, through tree growth rings, can estimate a more accurate value than those measured in the forest in the usual way. The present research aimed to study the *Copaifera duckei* species in its dendrochronological, density and anatomical attributes aiming to obtain knowledge about the dynamics of this species growth in two intensities of timber harvest areas that underwent logging in 1993, one of reduced impact logging and the other conventional one, and an unexplored área. All of them has been monitored for 25 years. Forty-one trees were selected and collected on average three samples of each using a Pressler probe. The samples underwent natural drying, cutting, mechanical polishing, and anatomical cuts. After ring delimitation by the Windendro program, to verify their synchronization, Cofecha and Arstan statistical program was used. For growth modeling the CurveExpert program was used. Growth rings were analyzed to indicate effects of climatic seasonality of the region to determine the influence of climate variables of precipitation and temperature on tropical species and influence of timber harvest, presence of lianas on the trees the shape of the crowns, in addition to the accumulated increase in wood of the trees. The results indicated that *C.duckei* has a great dendrochronological potential confirmed by its high correlation of growth ring width between trees and positive correlations with the climatic variables analyzed in all time periods, especially with precipitation. Growth rings delimited by marginal parenchyma. Average apparent density of 0.87 g.cm³, 0.85 g.cm³ and 0.86 g.cm³, average annual increment of 0.26 cm, 0.20 cm and 0.27 cm, and age range from 46 to 84 25-91 years and 33-75 years in the reduced impact, conventional and unexplored treatments, respectively, besides significant differences between menstruation by tape measure and growth ring, and influence of luminosity and presence of lianas on the growth of trees.

Keywords: Growth rings, Amazon, Management

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

DMC	Diâmetro Mínimo de Corte
EIR	Exploração de Impacto Reduzido
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IF	Inventário Florestal
IMAZON	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
ITP	Instituto de Tecnologia e Pesquisa
PMFS	Plano de Manejo Florestal Sustentável
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
SUDAM	Superintendência Desenvolvimento Amazônia
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UPA	Unidade de Produção Anual
UMF	Unidade de Manejo Florestal

1. INTRODUÇÃO

Sempre alvo de muitos estudos e pesquisas em diversas áreas da ciência e tecnologia, a região Amazônica é uma das grandes preocupações das autoridades nacionais e internacionais, além da população em geral com os adventos das mudanças climáticas, o que levou o cenário amazônico a tornar-se um dos ambientes mais estudados e observados em todo o mundo, pois se trata da maior concentração de biodiversidade existente na Terra (ARAÚJO, 2008), exercendo uma função crucial nos aspectos físico-químicos da natureza e especialmente nos aspectos climáticos, como excesso e escassez de chuva.

No Brasil há o termo "Amazônia Legal" que abrange os estados do norte do país junto com Mato Grosso e parte do Maranhão ocupando 5 milhões de km², sendo a Amazônia Oriental formada pelos estados do Pará, Maranhão, Amapá, Tocantins e Mato Grosso (IMAZON, 2013; SUDAM, 2018).

A floresta é cortada pelo rio Amazonas e seus afluentes constituindo a maior rede fluvial do nosso planeta, e responsável por aproximadamente 20% do total de água doce despejado nos oceanos do planeta. Ela está posicionada nos trópicos, onde as trocas de energia entre a superfície continental e a atmosfera são bastante intensas. Alterações nos ecossistemas amazônicos podem provocar impactos na circulação atmosférica, no transporte de umidade e, consequentemente, no ciclo hidrológico, não somente sobre a América do Sul, mas em outras partes do mundo (CORREIA et al., 2007).

Uma das características importantes das florestas tropicais é a sua riqueza, ou seja, um grande número de espécies de árvores dividindo o mesmo ambiente. Contudo, elas podem apresentar baixa densidade demográfica, podendo chegar a apenas um indivíduo por hectare, o que dificulta o estudo da dinâmica dessa floresta. A floresta tropical apresenta um ambiente extremamente heterogêneo, tanto no espaço quanto no tempo (PIRES-O'BRIEN e O'BRIEN, 1995). Em cada hectare de floresta existem aproximadamente 300 espécies de árvores com mais de 10 cm de diâmetro à altura do peito (DAP). Isso representa um número maior do que todas as espécies de árvores da Europa inteira. Estas árvores, e as outras plantas não incluídas nesse número, sustentam milhares de espécies de animais; os estudos mostram que a diversidade dessas florestas é maior na Amazônia e Ásia e relativamente menor na África (RIBEIRO et al., 1999).

Graças a sua imensa riqueza florestal, a exploração e processamento industrial de madeira é uma das suas principais atividades econômicas. A importância dessa atividade

justifica-se, principalmente, pela presença do setor madeireiro em praticamente todos os municípios da Amazônia (SFB e IMAZON, 2010).

Para atividades de exploração madeireira sustentáveis é necessário conhecer a floresta a ser manejada de forma quantitativa e qualitativa. O manejo florestal nada mais é que uma exploração racional com técnicas que mitigam impactos ambientais; este conhecimento é obtido através do inventário florestal (IF). Os IFs podem ser classificados como temporários que fornecem uma visão estática, ou atual, realizando-se um levantamento prévio das espécies encontradas naquela população inventariada, ou inventários contínuos que são os de monitoramento. Contudo, o IF de monitoramento, requer várias mensurações sucessivas, podendo ser realizado em qualquer área, sob a influência de manejo ou não (SILVA e LOPES, 1984; BRENA, 1996).

Existem muitos estudos atualmente sobre crescimento das árvores tropicais e a caracterização da anatomia da madeira dessas árvores, porém ainda são poucos levando em consideração a grande diversidade de gêneros e espécies de plantas existentes na Amazônia, e a dificuldade que florestas nativas possuem tanto em localização de difícil acesso, quanto à forma dispersa em que elas se encontram nesse tipo de floresta. Segundo TOMAZELLO-FILHO e BOTOSSO (2001), existem técnicas que possibilitam a predição do histórico do crescimento de florestas tropicais, junto aos dados climatológicos da região; estas são possíveis através dos estudos dos anéis de crescimento (dendrocronologia). Este estudo analisa o desenvolvimento diametral do tronco das árvores ao longo do tempo, através do crescimento radial, composição bioquímica, estrutura hidráulica, densidade e anatomia da madeira. Essas variações são em parte explicadas pela resposta natural das árvores à variabilidade climática local, regional e global.

A dendrocronologia é de fato uma ciência que possui seus métodos científicos e experimentos práticos para chegar ao resultado, observando não apenas o crescimento das árvores através dos seus anéis de crescimentos, mas também sua idade e ritmo de crescimento para estudos de manejo, e sua relação com dados ambientais para reconstrução de séries climáticas.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar os anéis de crescimento do tronco das árvores de *Copaifera duckei* de florestas sob exploração convencional e exploração de impacto reduzido na Amazônia Oriental, e caracterizar suas variações dendrocronológicas para estudos de manejo.

2.2 Específicos

I. Construir cronologias de anéis de crescimento do lenho das árvores da espécie.
II. Estimar a idade das árvores pela análise dos anéis de crescimento.
III. Descrever a anatomia dos anéis de crescimento formados no tronco das árvores.
IV. Determinar a taxa de crescimento em diâmetro do tronco das árvores através dos anéis de crescimento anuais.
V. Avaliar a influência da luminosidade e de presença de lianas nas copas das árvores no crescimento em diâmetro do lenho.
VI. Determinar a densidade aparente das amostras do lenho das árvores.
VII. Avaliar a influência de variáveis climáticas locais sob o crescimento em espessura das árvores

3. REVISÃO BIBLIOGRÁGICA

3.1 Florestas tropicais

Habitualmente a definição de floresta é qualquer vegetação composta, sobretudo, de indivíduos lenhosos onde as copas das árvores se tocam formando um dossel. Para a FAO (2012) considera-se mais os aspectos de ocupação do solo dizendo que floresta é uma área medindo de 0,5 ha com árvores maiores que 5 metros de altura e cobertura de copa superior a 10%, ou árvores capazes de alcançar estes parâmetros (*in situ*); isso não inclui terra que está predominantemente sob uso agrícola ou urbano. Já a UNFCCC (2001), no Acordo de Marrakesh, mesmo tendo uma definição bem similar, ainda leva em conta a questão climática.

As florestas tropicais têm esse nome por estarem localizadas próximas à linha do equador e aos trópicos. As maiores áreas de floresta tropical estão na América do Sul, África e Indonésia. Existem outras áreas com florestas tropicais, no entanto a Amazônica, na América do Sul, é a maior delas, e o Brasil detém cerca de 1/3 de todo o remanescente de florestas tropicais no mundo, distribuído primariamente na Amazônia e, secundariamente, na região costeira atlântica. Devido a sua localização, elas recebem muita luz do Sol, e esta convertida em energia pelo processo de fotossíntese, no qual a planta sintetiza seu próprio alimento. Além de “se alimentar”, esta energia segue estocada na vegetação que por sua vez serve de alimento para diversos animais. (AYRES et al., 2005; HOLL, 2013); e também elevadas quantidades de chuvas e evapotranspiração.

Ainda falando da grande importância das florestas tropicais no planeta, as mesmas ajudam no clima absorvendo o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera que em excesso contribui com o aquecimento global. O aumento das emissões de CO_2 e de demais gases na atmosfera emana da queima dos combustíveis fósseis e das mudanças no uso da terra, principalmente o desmatamento (HOLL, 2013; IPAM, 2015).

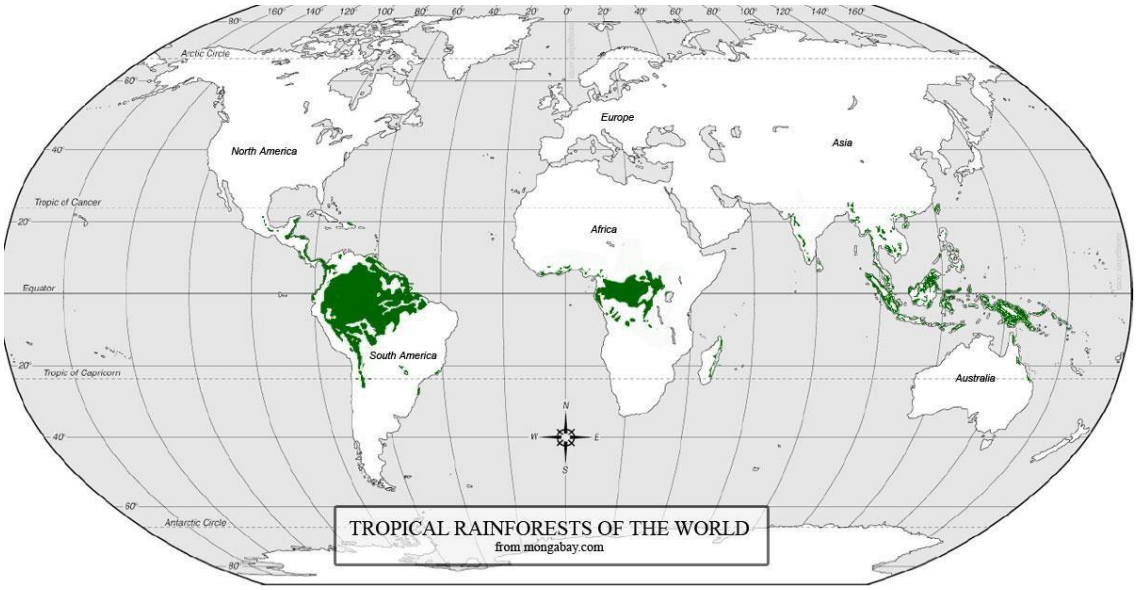

Figura 1 - Distribuição das florestas tropicais no mundo (Fonte: Mongabay.com)

3.2 Exploração florestal

Uma floresta é formada por um conjunto de árvores que às vezes pertencem a espécies e gêneros diferentes; umas já bastante conhecidas e estudadas, enquanto outras nem tanto, podendo existir até uma nova espécie ou gênero totalmente desconhecido ainda; e pode aproveitar-se tudo da árvore: raiz, caule, casca, galhos, folhas e frutos, porém a madeira (lenho) é o principal produto atualmente com escala de mercado e liquidez financeira.

Assim como outros seres vivos, a árvore, para viver, desenvolver e sobreviver precisa interagir com meios bióticos e abióticos, sem perder de vista a relação intrínseca com os fatores do ambiente e do solo (como água, sais minerais e luz). Ousar manejar uma floresta sem este conhecimento é apostar no fracasso. A floresta que está sendo explorada na Amazônia, por exemplo, tem, aproximadamente, 1500 anos de idade, e se desenvolveu sobre solos pobres em nutrientes (BEZERRA, FUNARI, KUYPER, 2015). A magnitude da floresta em contraste com a fertilidade dos solos pode ser explicada pela capacidade da floresta em conservar e reciclar nutrientes (INPA, 2018).

Com o início da civilização e a necessidade do ser humano de utilizar materiais para garantir sua sobrevivência, as árvores começaram a ser derrubadas para servir de material para construção, matéria-prima para meios de transportes, armas, etc, sem a devida consciência de sustentabilidade, e isto permaneceu durantes muitos anos. Atualmente, muitas pessoas ainda vivem como se as árvores cumprissem apenas estas funções. Não há

um registro exato da origem do manejo florestal, porém, dentre os mais antigos relatos consta que em 1122 a.C. um imperador chinês contratou um silvicultor cuja principal tarefa era o desbaste, a poda e a limpeza das florestas (MORAIS E SILVA, 2006).

O mesmo autor ainda escreve que o manejo florestal envolve várias etapas que vão desde a coleta de dados e de informações para tomada de decisões; planejamento da produção por unidade de trabalho, bem como o planejamento da produção para o conjunto das áreas florestais e, ainda, permite o gerenciamento de todo o processo de produção florestal, e assim assegura o interesse do proprietário e da sociedade à floresta, sempre considerando os aspectos econômicos, ecológicos e ambientais. Um bom planejamento florestal é efetuado em duas etapas: na primeira planejam-se todas as ações necessárias para a produção de uma unidade de trabalho, e na segunda o planejamento geral da produção em toda a área de manejo fazendo os ajustes necessários que eventualmente ocorrem no planejado para as unidades de trabalho. O planejamento do manejo é de extrema importância em razão dos longos períodos envolvidos, que podem variar de semanas, meses, e até anos, e das dificuldades devido aos empecilhos que podem acontecer antes, durante e depois das atividades, como mudanças abruptas do clima.

De acordo com o SFB e IMAZON (2010), a exploração madeireira é uma das principais atividades desenvolvidas na Amazônia brasileira; atividade essa que gera uma produção em torno de 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira. A atividade florestal, segundo LENTINI et al., (2005), durante muito tempo era realizada apenas em florestas de várzeas ao longo do rio Amazonas e seus maiores afluentes; após a construção de estradas a partir da década de 1970, a exploração expandiu-se para florestas de terra firme que continham uma maior diversidade de espécies de alto valor e nenhuma restrição ambiental, o que levou a uma grande pressão sobre os recursos naturais.

As práticas do manejo florestal sustentável não são viáveis sem estudos e pesquisas sobre uma previsão aceitável de quanto as diferentes espécies na floresta possam se recuperar dentro de um intervalo de tempo, garantindo assim a recuperação de seu volume e a sustentabilidade da produção florestal (BRAZ et al., 2012).

3.2.1 Tipos de exploração

3.2.1.1 Exploração convencional

Apesar da existência de estudos e trabalhos de conscientização ambiental sobre manejar uma floresta de forma sustentável, ainda é predominante na Amazônia a exploração predatória dos recursos florestais através do método convencional. Nesta prática, não existe planejamento prévio e tampouco cuidado com o futuro da floresta e meio ambiente, frequentemente excedendo sua capacidade de recuperação. A exploração convencional surgiu em um tempo no qual havia imensas extensões de florestas preservadas, durante a colonização da Amazônia. Neste método a extração de árvores é repetida na mesma área sempre que uma nova espécie de madeira se torna cobiçada no mercado, de forma que a floresta não tenha tempo suficiente para se recuperar normalmente (IFT, 2014).

Figura 2 - Área após exploração convencional. Vista aérea (acima) e vista das estradas na floresta (abaixo). (Fonte: banco de dados IFT)

No método convencional, as árvores são localizadas por um trabalhador conhecido como “mateiro”, que já está familiarizado com a área, e consegue identificá-las e localizá-las

com mais facilidade na floresta. Em seguida, as mesmas são cortadas com motosserras sem técnicas adequadas. Após o corte das árvores, um maquinário pesado entra na floresta formando pátios e estradas onde a madeira irá ser transportada por caminhões. Assim, são evidentes os danos que esta exploração desordenada causa à floresta, como: desperdício de toras de madeira que acabam se perdendo na floresta ou que não serão usadas devido ao mal corte na árvore; excesso de área aberta para estradas, perda de espécies únicas na região, entre outros (ANGELO et al., 2014; IFT, 2014).

3.2.1.2 Exploração de Impacto Reduzido - EIR

Diferente da exploração convencional, a exploração de impacto reduzido (EIR), ou apenas Manejo, tem um planejamento meticuloso das operações que serão realizadas; nela, todos os trabalhadores são equipados com EPIs para a segurança, além de serem bem instruídos a respeito das operações realizadas neste tipo de exploração.

Figura 3 - Área com manejo de impacto reduzido. Vista aérea (acima) e vista das estradas na floresta (abaixo) (Fonte: banco de dados IFT)

A EIR é considerada crucial para as operações florestais e constitui um passo importante para o manejo racional da floresta devido à implantação de uma série de diretrizes pré e pós-exploratórias que visam proteger a regeneração avançada, como mudas, e arvoretas; minimizar danos às espécies que não entraram no inventário para exploração, bem como animais e produtos florestais não madeireiros (PFNM); processos no ecossistema, como hidrologia e sequestro de carbono; solos; além da redução de custos operacionais. Vários estudos na região têm demonstrado que a exploração madeireira seguindo técnicas de impacto reduzido não é necessariamente mais cara que a exploração convencional (PUTZ et al., 1999; HOLMES et al., 2002).

3.2.2 Plano de manejo florestal sustentável para a produção de madeira

Como explicado anteriormente, o manejo florestal requer decisões que considerem trocas entre maximizar a produção de madeira e reduzir os impactos negativos sobre a integridade biológica da floresta (PINARD et al., 1999).

O diâmetro mínimo de corte é regulamentado por legislação específica. Para as florestas da Amazônia Legal, a portaria N° 048 de 17 de julho de 1995 (com Instrução Normativa de 5 de dezembro de 2006), do Ministério do Meio Ambiente, estabelece um diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 c m para todas as espécies para as quais ainda não se estabeleceu o DMC específico. A ideia do estabelecimento de um diâmetro máximo de corte baseia-se na necessidade de preservação das espécies, especialmente espécies com estratégias de reprodução pouco conhecidas (CUNHA et al., 2002).

A intensidade de corte proposta no Plano de manejo florestal sustentável (PMFS) será definida de forma a propiciar a regulação da produção florestal, visando garantir a sua sustentabilidade, e levará em consideração os seguintes aspectos:

I - Estimativa da produtividade anual da floresta manejada ($m^3.ha.ano^{-1}$), para o grupo de espécies comerciais, com base em estudos disponíveis na região;

II - Ciclo de corte inicial de no mínimo 25 anos e de no máximo 35 anos para o PMFS Pleno e de, no mínimo, 10 anos para o PMFS de Baixa Intensidade;

III - Estimativa da capacidade produtiva da floresta, definida pelo estoque comercial disponível ($m^3.ha^{-1}$), com a seguinte consideração:

a) os resultados do inventário florestal da Unidade de manejo florestal (UMF);

b) os critérios de seleção de árvores para o corte, previstos no PMFS; e

c) os parâmetros que determinam a manutenção de árvores por espécie, estabelecidos nos arts. 6.º e 7.º

É importante lembrar que pode haver diferença nos crescimentos das árvores de terra firme e das de igapó, por exemplo.

Na exploração convencional, sempre que uma nova espécie torna-se interessante para ser comercializada, é realizada uma nova exploração, diferente do manejo (EIR), onde o ciclo de corte demanda que a área deve ter um tamanho suficientemente grande para que cada unidade de produção anual (UPA) seja explorada em um dado ano de forma que volte a ser explorada novamente apenas quando o ciclo de corte for completado. Porém, determinar o ciclo de corte pode ser uma tarefa muito difícil e trabalhosa que muitas vezes exige anos de observação no acompanhamento da floresta para entender o crescimento e o comportamento das espécies (IFT, 2014).

3.3 Crescimento das árvores

O crescimento das árvores é produzido pela sua atividade fisiológica. As plantas, assim como os animais, possuem vários tipos de tecidos. Tecidos são grupos de células que possuem formas e funções, e os tecidos vegetais se originam dos meristemas. Os meristemas constituem tecidos indiferenciados que originam novas células, ou seja, uma célula meristemática pode originar qualquer tipo de célula especializada do vegetal. Quando as plantas são jovens, os meristemas mais ativos são chamados de meristemas apicais, que dão origem ao crescimento primário (crescimento em altura) e estão localizados no ápice do caule e da raiz (TAIZ et al., 2017).

Há também outro conjunto de células meristemáticas que dão origem ao crescimento secundário da planta, o câmbio, que é responsável pelo crescimento em espessura da mesma. A camada do câmbio que produz o lenho é chamada de câmbio vascular. É através das células do câmbio que se origina o xilema, constituído por uma porção funcional denominada alburno, que consiste na parte externa com coloração geralmente mais clara, e pela porção não funcional, denominada cerne, na parte mais interna com colocação mais escura, que juntas formam o lenho (SILVEIRA, 2004; TAIZ et al., 2017).

Segundo APEZZATO-DA-GLORIA e CARMELLO-GUERREIRO (2006), o câmbio pode sofrer dormência durante períodos de estresse; em regiões temperadas, o fator temperatura é o mais importante. O frio durante o período de inverno causa a dormência do câmbio, que é reativado na primavera. Durante o período de dormência, cessa a divisão celular, o que resulta em uma região cambial mais estreita em relação ao formado nos períodos mais favoráveis ao crescimento. Já nos trópicos, é a disponibilidade hídrica que frequentemente induz a sazonalidade cambial. Períodos de dois a três meses contínuos de seca, com precipitações mensais menores que 50 mm, causam a parada da atividade cambial, que depois é retomada nos períodos em que as precipitações mensais são superiores a 50 mm, como também comenta WORBES (1995). O tecido formado durante o momento em que a árvore está em seu alto período de desenvolvimento, seguido do período de dormência, resulta em um anel de crescimento da árvore, que pode corresponder a um ano de crescimento da árvore, esta muitas vezes formada por vários anéis de crescimento.

Por muitos anos acreditava-se que o crescimento de espécies de plantas tropicais e subtropicais ocorria de forma constante, sem interrupção, e a avaliação dos anéis de crescimento não era realizada. No entanto, hoje se sabe que o crescimento destes anéis também ocorre de forma sazonal com períodos de crescimento da planta e períodos de repouso vegetativo. Provavelmente isto é decorrente das condições que antecedem a estação de crescimento que têm uma maior influência na largura do anel do que condições que ocorrem durante a estação de crescimento. Os efeitos correspondentes desses fatores de crescimento variam com o clima local, precipitação, altitude, dentre outros (JACOBY, 1989; SCHWEINGRUBER, 1996; MUNARETO, 2007).

Os primeiros relatos da existência dos anéis de crescimento foram feitos há muito tempo na antiga Grécia. Já no século XVI, Leonardo da Vinci reconheceu a relação entre os anéis de crescimento e o clima em árvores de espécies pertencentes à família Pinaceae na região de Toscana, na Itália, relatando que a espessura do anel indicaria anos de maior ou menor seca (BOTOSSO e MATTOS, 2002).

Os anéis de crescimento, segundo STOKES e SMILEY (1968), de modo geral, são compostos de duas partes: o lenho inicial, que é formado no início da estação de crescimento, quando o crescimento em diâmetro é mais acelerado, e que geralmente apresenta uma coloração mais clara; e o lenho tardio, formado no final da estação de crescimento quando a atividade cambial é mais baixa, apresentando colocação mais escura decorrente da diminuição do tamanho da célula e do espessamento da parede celular.

3.4 Dendrocronologia

A dendrocronologia, segundo ABRAMS e COPENHEAVER (1999), é uma ciência que reconstitui as alterações no crescimento de plantas lenhosas, durante longos períodos de tempo pela análise dos anéis de crescimento. A palavra *dendro* é de origem grega e significa árvore, e a palavra *logos*, de mesma origem, significa estudo, trabalho; assim dendrologia significa estudo das árvores. Este termo foi proposto pelo naturalista italiano Ulisse Aldriovandi, em 1668 (SOUZA, 1973). Sendo assim, termos como dendrocronologia, de forma bem literal, significa estudo do tempo das árvores; dendroclimatologia o estudo do clima nas árvores, e assim sucessivamente com outros sufixos.

Para datar os anéis de crescimento de forma adequada é preciso conhecer o ritmo cambial das espécies, já que a existência de anéis de crescimento em uma dada espécie não significa que estes sejam formados com periodicidade anual, tampouco regular. Vale ressaltar também que nem todas as espécies apresentam anéis visíveis anatomicamente (OLIVEIRA, 2007), e muitas ainda têm a presença de anéis falsos.

A maior parte dos trabalhos realizados sobre dendrocronologia estava concentrada nas regiões frias do planeta, o que gerou, para alguns autores, controvérsias sobre a existência de anéis de crescimento anuais nos trópicos, e uma das mais importantes razões para a pouca aceitação do crescimento arbóreo sazonal nos trópicos é o fato de que nestes não existem invernos rigorosos, com forte sazonalidade térmica (VETTER e BOTOSSO, 1989).

A dendrocronologia é possível pelo fato dos anéis de crescimento estarem marcados em muitas árvores de variadas espécies em sua seção transversal. STOKES e SMILEY (1968) elaboraram quatro condições padrões necessárias na datação de uma espécie. São eles:

I. As árvores usadas para datação têm que ter apenas um anel por cada estação de crescimento;
II. Embora o aparecimento e crescimento de anéis sejam formados pela interação de fatores ambientais, um fator ambiental será dominante na limitação do crescimento;
III. Este fator climático dominante no anel deve variar em intensidade de ano para ano, e os resultados dos anéis de crescimento anuais são fielmente refletidos na variação de suas larguras. Apesar de suas larguras não serem necessariamente proporcionais à

precipitação, os anéis de crescimento devem ser mais estreitos em anos secos, e nos anos mais chuvosos é perceptível que os anéis tornam-se mais largos;

IV. A variável ambiental limitante de crescimento deve ser uniformemente efetiva em uma grande área geográfica. Se assim não fosse, as cronologias compostas teriam que ser compiladas para cada pequena área. Pequenas diferenças, características de pequenas áreas, sempre existem, mas os padrões básicos de anéis são semelhantes o suficiente para permitir cruzamentos entre o crescimento de muitos quilômetros.

Para FRITTS (1976), os anéis de crescimento, através das respostas expressas pelas árvores, carregam consigo informações das mudanças ocorridas ao longo de séculos, estando prontamente disponíveis ao observador com sua medição. A associação de cada anel de crescimento ao seu ano de formação (datação) torna possível a construção de séries históricas das condições ambientais; conhecer o crescimento da árvore, além de servir de recurso para preservação ambiental, economia, manejo para extração de madeira sustentável. Através da obtenção de taxas de incremento, idade arbórea e modelos de crescimento, conseguem-se informações de grande utilidade para o cálculo da idade, extração adequada, regeneração da população da espécie e ciclos de corte para a manutenção florestal e econômica da população tradicional local (WITTMANN et al., 2009).

A datação cruzada (*crossdating*) é o mais importante princípio da dendrocronologia. A sua aplicação fornece um tipo de controle, pois garante o posicionamento adequado no tempo de cada camada de crescimento. As larguras anuais dos anéis devem ser cruzadas entre todos os raios dentro de um tronco, e entre diferentes árvores em uma determinada espécie da área, bem como entre os anéis de espécies que vivem ao redor. As variações nas características dos anéis, especialmente as larguras dos anéis, são examinadas e sincronizadas entre todas as amostras de uma determinada região. Se houver covariação suficiente entre os anéis de diferentes árvores e a amostra for grande o suficiente, o ano em que cada anel foi formado pode ser determinado (FRITTS, 1976).

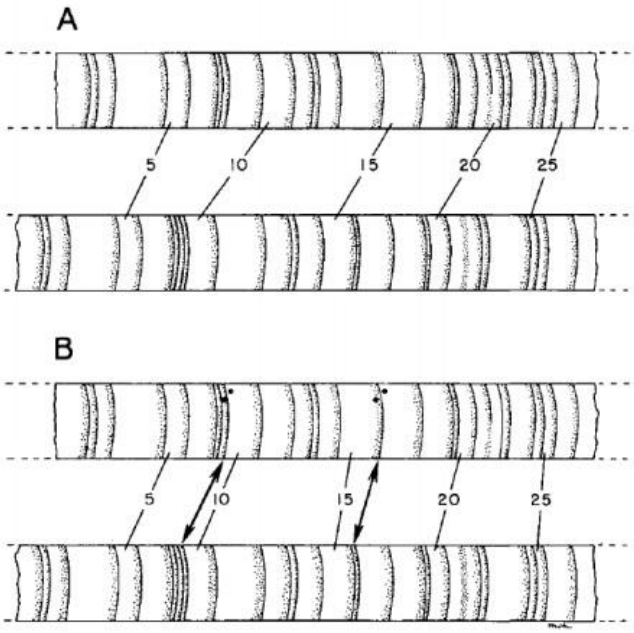

Figura 4 - Esquema de uma datação cruzada (*crossdating)* entre amostras de lenho onde é possível ver onde os anéis estão ausentes ou onde uma faixa de anel de crescimento intra-anual aparece como um anel anual verdadeiro. (Fonte: FRITTS, 1976)

3.5 Dendrocronologia e o manejo florestal

Na Amazônia, como mencionado anteriormente, há o predomínio da exploração convencional, que traz enormes danos ao meio ambiente, e em menor escala, a exploração de impacto reduzido (EIR), que é um manejo que visa o uso de técnicas especializadas para degradar o mínimo possível ao ambiente. De acordo com VIANA e JARDIM (2008), a recomposição de ecossistemas degradados abrange vários tipos de conhecimento, principalmente no que se refere à funcionalidade e à dinâmica das espécies, essenciais à formação estrutural das populações. Dessa forma, os conhecimentos da dinâmica natural e da estrutura do ecossistema são de fundamental importância no desenvolvimento de modelos de recuperação. O conhecimento dos processos dinâmicos de uma floresta é importante para o entendimento do crescimento e as mudanças ocorridas na composição florística e estrutura (MENDONÇA, 2003).

Muitos autores já apresentaram alternativas para o manejo de florestas tropicais, adaptando técnicas de exploração e manejo direcionadas à sustentabilidade produtiva das florestas, com avanços importantes ao longo das últimas décadas no aprimoramento das técnicas de manejo de impacto reduzido no Brasil e em outros, sendo uma delas a própria EIR (HOLMES et al., 2002; GAMA e BENTES-GAMA, 2005). Para um planejamento de

manejo sustentável precisa-se ter em mãos, no mínimo, informações sobre a dinâmica de crescimento das espécies arbóreas da floresta. O incremento é, principalmente, reflexo da interação árvore *versus* espécie *versus* ambiente, podendo variar regionalmente.

Para GROENENDIJK et al., (2017), ainda há uma carência nos dados necessários para projetar intensidades de exploração, como mortalidade e regeneração de árvores. Análises no anel de crescimento de árvores fornecem dados de crescimento específico da espécie que podem ser usados para permitir ou melhorar as projeções de disponibilidade de madeira durante os seguintes ciclos de registro. Quando a espécie apresenta anéis de crescimento anuais, a dendrocronologia torna-se o meio mais confiável que as mensurações provenientes de inventários florestais, que levam anos para geração dos dados necessários para entender e calcular o crescimento das árvores. (FIGUEIREDO FILHO et al., 2017).

Os estudos dos anéis de crescimento das árvores são a alternativa para recuperação das informações de crescimento de forma mais rápida, sendo usados por pesquisadores em estudos com espécies de clima temperado, há muitos anos, e nos últimos anos essas técnicas e estudos foram aplicadas às florestas tropicais. Segundo informações de BRIENEN e ZUIDEMA (2006) e também de SCHÖNGART (2008), esses dados foram usados para melhorar cálculos dos futuros rendimentos de madeira. O potencial dendrocronológico já é uma realidade para estimar idade e crescimento diamétrico das árvores para muitas espécies. Sobre florestas tropicais, ainda há muito a ser feito quando o assunto é ciclo de corte por ser uma região que irá depender de séries históricas de crescimento de espécies, tradicionalmente obtidas pelo monitoramento do crescimento em parcelas permanentes.

Dessa forma, para um manejo satisfatório, o incremento regional das espécies deve ser conhecido, além da influência de determinadas situações de competição. Nisso, o monitoramento de florestas nativas nestas parcelas possibilita o conhecimento da situação do povoamento, constituindo uma ferramenta muito útil aos responsáveis pelo planejamento do manejo florestal, sendo importante também para o estudo da estrutura e da dinâmica de informações como recrutamento, mortalidade e ingresso, além do potencial volumétrico do povoamento, e podem ser incrementadas com o cruzamento de informações de estudos dendrocronológicos (MATTOS et al., 2001).

No Brasil já são encontradas literaturas citando o crescimento como fonte de informação para determinação dos volumes de colheita e ciclos de corte, visando o manejo florestal sustentável (MATTOS et al., 2001). Como exemplo, pode-se citar o trabalho de SCHÖNGART (2008), em várzeas inundáveis da Amazônia brasileira que desenvolveu o conceito do manejo específico por espécie, diâmetro mínimo de corte e duração do ciclo de

crescimento dando um passo na determinação de taxas de extração mais realistas para o manejo de florestas naturais tropicais. Eventos de extrema seca na Amazônica foram estudados por JENKINS et al., (2013) por meio de uma cronologia de largura de anéis de *Cedrela odorata*. Primeiramente eles observaram a relação dos anéis *versus* eventos conhecidos de seca até o ano de 1973 (período de registros de precipitação). Verificado um padrão de respostas dos anéis da espécie a essa variação, foi possível estender a análise dos eventos até o ano de 1819 (período da cronologia dos anéis de crescimento). Com isso puderam constatar que vem acontecendo um aumento na frequência de secas extremas desde a virada do século XXI.

Outro exemplo de estudos da dendrocronologia com manejo é relatado por COURALET et al., (2005) quando estudaram a demografia e distribuição de árvores de *Juniperus procera* em florestas secas de altitude da Etiópia. A informação de maior relevância foi que a taxa de crescimento da população é altamente sensível a mudanças no crescimento e na sobrevivência de árvores entre 10 e 40 cm de DAP. Para o manejo das florestas isso implica que os indivíduos de classe de tamanho intermediário devem ser protegidos sob forma de manejo e tratamentos silviculturais e extraídos para corte apenas sob condições planejadas. Os resultados mostram que esta abordagem pode ser adotada em outras áreas ou com outras espécies.

3.6 Densitometria por raios x

A densidade é considerada uma das mais importantes propriedades do lenho, relacionando-se, normalmente, com as suas características anatômicas como: quantidade total de parede das células de sustentação como fibras ou traqueídes, diâmetro e frequência dos vasos e porcentagem de parênquima, além da química e das propriedades mecânicas. Alguns autores relataram a variação da densidade em função de diversos fatores, como idade, espécie, local de origem, sítio, material genético, características ambientais e práticas silviculturais, além também de ocorrerem entre gêneros, entre espécies pertencentes ao mesmo gênero, bem como entre árvores e até dentro do mesmo indivíduo (TOMAZELLO FILHO, 1985; SOUZA et al., 1986; Vale et al., 1995; VIGNERON et al., 1995; BOUVET et al., 1999; SCHINKER et al., 2003; VIANA, 2008).

Segundo HAYGREE e BOWYER (1982), a variação da densidade do lenho nos sentidos radial-longitudinal do tronco das árvores de diferentes espécies é de natureza

anatômico-fisiológica, e as dimensões das células do lenho são influenciadas pela natureza e teor de auxinas produzidas e exportadas pelas gemas terminais e vigorosas porções da copa das árvores, durante a estação de crescimento.

São vários os métodos para a determinação da densidade da madeira, e um que vem ganhando destaque é a densitometria por raios X. Implantada por AMARAL (1994), esta técnica vem sendo bastante utilizada como uma importante ferramenta na avaliação e qualidade do lenho de árvores que têm passado por diferentes tratamentos e/ou variações climáticas, assim como caracterização tecnológica da sua madeira (SURDI et al., 2014).

De acordo com AMARAL (1994), a densitometria de raios X é uma técnica que consiste na obtenção de radiografias de uma fina secção transversal de madeira sobre um filme radiográfico que fica exposto à fontes de raios X onde passam pela amostra do lenho e assim formando uma imagem da sua seção transversal. Estas informações geradas de densidade podem ser correlacionadas com parâmetros de natureza climática, dendrológica, entre outros; e ainda junto com a incorporação de *softwares* computacionais na leitura desses filmes radiográficos e informações geradas (TOMAZELLO FILHO, 2006; TOMAZELLO FILHO et al., 2008).

3.7 Copaifera duckei

O gênero *Copaifera*, conhecido popularmente como copaíba, pertence à família Fabaceae (Leguminosae) que é a terceira maior família botânica existente. Contando com 38 espécies e 11 variedades espécies, o gênero está dividido em três subfamílias de acordo com suas características, que são: Faboideae e Mimosoideae e Caesalpinioideae, sendo a *Copaifera* pertencente a esta última. Porém, essa subdivisão, requer estudos filogenéticos para uma melhor classificação para estas subfamílias, já que Caesalpinioideae é considerada um grupo parafilético. O gênero *Copaifera* está presente na África (4 spp.), América Central (4 spp.), América do Sul (cerca de 37 spp.) e, provavelmente, na Ásia (1 sp.). No Brasil são registradas 28 espécies do gênero, sendo 22 endêmicas deste país (DWYER, 1951; DOYLE et al., 2000; LEWIS et al., 2005; MARTINS-DA-SILVA, 2006; COSTA e QUEIROZ, 2007; SOUZA e LORENZI, 2008).

Figura 5 - Detalhe da seção transversal de *Copaifera duckei* (A) Óleo de copaíba sendo extraído em Paragominas/PA (B) Árvore de *Copaifera duckei* coletada (C).

Segundo VEIGA JUNIOR e PINTO (2002), existem muitas pesquisas e trabalhos a respeito dos óleos e resinas da copaíba, porém poucos registros em artigos e teses sobre sua identificação botânica; e mesmo com os estudos de taxonomia deste gênero apresentados ao longo dos anos, ainda há dificuldades para reconhecer as espécies que ocorrem na Amazônia brasileira devido à escassez de informações de campo sobre variações de características morfológicas e ilustrações demonstrativas das características-chave, o que dificulta muitos estudos de caracterização e um manejo mais adequados dos recursos que a espécie pode prover (MARTINS-DA-SILVA et al., 2007).

Os autores ainda discorrem sobre a ocorrência da espécie afirmando ser apenas no Brasil, mas precisamente no nordeste da Amazônia brasileira; e ainda que foi encontrada desde o nordeste paraense até o noroeste do estado do Maranhão.

3.7.1 Características Dendrológicas

O gênero *Copaifera*, em relação ao grupo ecológico, é classificado como secundária tardia, exigindo luz e sendo tolerante à sombra (CARVALHO, 2003). A espécie *Copaifera langsdorffii* Desf. como mencionado em PEREIRA et al., (2018) possui grande plasticidade ecológica e também está presente em vários biomas. Estudos preliminares com *Copaifera langsdorffii* mostraram um sinal comum nas séries cronológicas dos indivíduos estudados, indicando um ciclo sazonal de crescimento, com camadas de crescimento anuais (CHRISTIANO, 2010).

Uma descrição mais detalhada sobre a espécie *Copaífera duckei* foi realizada por FEDALTO et al., (1989) e RIZZINI (1978), onde a descreveram como: uma árvore de, em média, 13 metros de altura comercial, 60 cm de DAP (diâmetro na altura do peito) e tronco cilíndrico; cerne distinto de cor avermelhada escuro e alburno acinzentado. Anéis de crescimento pouco distintos; madeira com brilho médio; textura média e grã direita; massa especifica de 0,62 g/cm³. Poros visíveis a olho nu poucos numerosos, de diâmetro médio e seção transversal oval de distribuição difusa uniforme, solitários e múltiplos radiais e racemiformes. Parênquima pouco abundante. Canais axiais imersos no parênquima apotraqueal marginal em alinhamento tangencial, apresentando conteúdo oleoso.

Os autores, citados por INZUNZA (1992), ainda falam de parênquima axial paratraqueal vasicêntrico não estratificado; vasos de diâmetro médio; elementos vasculares variando de longos a curtos, às vezes obstruídos por conteúdo sólido. Placas de perfuração simples horizontal ou oblíqua. Pontuações intervasculares opostas ou alternadas raios-vasculares e parênquimo-vasculares ovais ou irregulares. Raios normais e multisseriados de 2 a 4 células de largura; poucos raios unisseriados. Fibras libriformes curtas e diâmetro estrito a médio; paredes delgadas a muito delgadas.

Além disso, possuem canais intercelulares normais, oleíferos e dispostos no parênquima axial marginal, de seção circular com diâmetro inferior aos dos vasos. Grande quantidade de cristais romboédricos de oxalato de cálcio presentes no parênquima axial, particularmente junto aos raios. Há uma dificuldade em diferenciar ductos e cavidades, o que pode limitar a utilização dessas abordagens anatômicas, apesar disso, estas estruturas destacam-se como importantes caracteres taxonômicos em muitas famílias (SOLEREDER, 1908; METCALFE e CHALK, 1950).

No geral, de acordo com o ITP (1978), as madeiras do gênero *Copaifera* apresentam cor castanho-avermelhada escura e alburno bege-rosado; com parênquimas em

faixas marginais e vasicêntrico escasso; com muitos canais axiais de óleo-resina; e camadas de crescimento distintas pelo parênquima marginal.

Sobre a possível presença de anéis de crescimento anuais das espécies de *Copaífera*, alguns estudos dendrocronológicos já foram realizados (LÓPEZ e VILLALBA, 2016; MEDEIROS, 2016; PEREIRA et al., 2018; FONTANA et al., 2018, MIRANDA et al., 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local de estudo

Fundado em 1965, o município de Paragominas possui, atualmente, uma extensão de 19.330 quilômetros quadrados (19,3 milhões de hectares) e concentra a maioria das atividades econômicas desenvolvidas na região amazônica, a saber: criação de gado bovino, exploração de madeira, manejo florestal, reflorestamento, cultivo de soja (e outros grãos) e mineração de bauxita (IMAZON, 2009).

O tipo climático da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Aw, que corresponde a um clima tropical chuvoso com estação seca definida (WATRIN e ROCHA, 1992).

Figura 6 - Localização do município de Paragominas/PA (Fonte: Pinto et al., 2009)

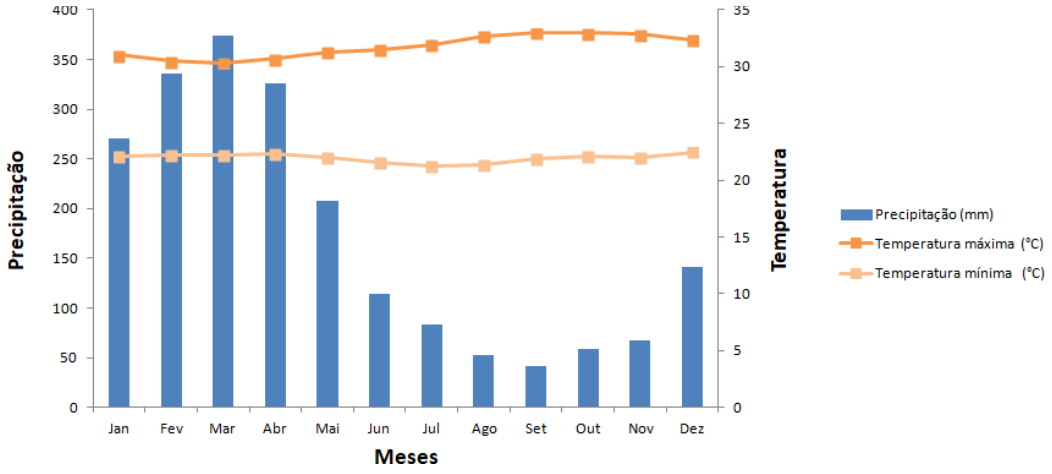

Figura 7 - Climograma do município de Paragominas com dados de precipitação mensal acumulada e temperatura máxima e mínima coletados do Climate Explorer (out 2019), dos anos de 1940 a 2017.

4.1.2 Área de coleta

A área de estudo situa-se na Amazônia Oriental (3°17'0 S, 47°34'0 O), na mesorregião do sudeste do estado do Pará, Brasil, no município de Paragominas, a uma altitude de cerca de 200 m em área particular do professor e pesquisador Edson Vidal, apoiado por várias instituições. A floresta é tida como sempre verde, com o dossel alcançando alturas entre 25-40 m. O terreno é plano à ondulado, sendo o latossolo amarelo rico em alumínio o tipo de solo predominantemente da região (VIDAL et al., 2016).

Figura 8 - Detalhe da área de estudo (Fonte: Google Earth)

4.2 Histórico da área de estudo

No ano de 1993, como relatou VIDAL et al., (2016), a floresta foi submetida à exploração madeireira convencional (75 ha), e exploração de impacto reduzido (105 ha); e mantida uma área de 30 ha não explorada. Dois anos antes da exploração, uma parcela de 24,5 ha (350 x 700 m) foi estabelecida de forma aleatória em cada área, com uma sub-parcela central de 5,25 ha (75 x 700) mais intensivamente estudada. Todas as árvores com DAP (1,30 m do solo) > 10 cm nas sub-parcelas e todas as árvores com DAP > 25 cm nas parcelas de 24,5 ha foram marcadas, mapeadas e identificadas a nível de espécie. Além disso, as árvores foram descritas em termo de presença, ou ausência de lianas, exposição solar da copa (adaptada de DAWKINS e FIELD, 1979) e qualidade de fuste e copa.

No momento do estabelecimento inicial da EIR (exploração de impacto reduzido), todas as lianas com DAP > 2 cm sobre as árvores a serem exploradas, foram cortadas. Um ano após a exploração, as árvores foram novamente medidas, levando-se em conta as informações anteriores, mais o recrutamento de novos indivíduos. Aos tratamentos adicionais à EIR incluiu-se: derrubada direcional das árvores por trabalhadores treinados, diminuindo impacto sobre os indivíduos remanescentes, além de facilitar o arraste das árvores. Todos os procedimentos seguiram um projeto pré-planejado, onde se estabeleceu a direção de corte preferencial, caminho de arraste dos *skidders*, limite dos pátios de estocagem e rotas para a construção das estradas (JOHNS et al., 1996).

Diferentes equipes realizaram as operações de inventário em cada parcela. Na área de exploração convencional, o levantamento foi realizado por duas equipes independentes de madeireiros, sem treinamento formal sobre técnicas de EIR. Cerca de um ano após o levantamento, as árvores eram novamente mensuradas, observando-se o dano ao fuste, ou copa, devido à exploração madeireira. Foram feitos 11 inventários sobre os mesmos valores, entre 1993 e 2017, sendo os anos: 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2000, 2003, 2006, 2009, 2014 e 2017 onde as equipes variavam entre cada avaliação.

O volume de árvores derrubadas foi similar em ambos os tratamentos de exploração (39 m^3 ha^1 em EIR e 37 m^3 ha^1 em exploração convencional), mas o volume de madeira extraído na parcela de exploração convencional (29,7 m^3 ha^1) foi inferior ao retirado na parcela de EIR (38,6 m^3 ha^1).

4.3 Seleção da espécie

Foi realizada uma revisão de literatura a fim de explorar quais espécies presentes nas parcelas apresentavam formação de anéis de crescimento a nível macro e microscópico. Junto a isto, além da seleção pela demarcação dos anéis, outro fator importante era se a espécie apresentava alta abundância de indivíduos nos três tratamentos. Assim, chegou-se a três espécies, sendo uma delas a *Copaifera dukei* utilizada neste trabalho.

4.4 Valores diamétricos anuais pelos DAP do inventário florestal

Para estimação dos crescimentos anuais de diâmetro foi utilizado o DAP do lenho de árvores de copaíba das três áreas de tratamento ao longo de 24 anos através dos inventários florestais fornecidos pela equipe principal do projeto, porém apenas das árvores que tiveram amostras coletadas para esta dissertação. Contudo, nem todos os anos de inventários (1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2000, 2003, 2005, 2006, 2009, 2014 e 2017) foram medidos o DAP de todas as árvores. Para ilustração desse crescimento, foram utilizadas uma amostragem com algumas árvores, como mostrado no item 5.2 (figura 19), foram usadas 5 árvores da área de exploração de impacto reduzido (manejo), 7 árvores da área de exploração convencional e 5 árvores da área em que não houve exploração. A escolha do número de árvores e dos indivíduos baseou-se na disponibilidade de informações relativas ao inventário, possibilitando a comparação com os dados obtidos pela dos anéis de crescimento.

4.5 Coleta das amostras de lenho

A análise do tronco de uma árvore é uma técnica utilizada para se fazer a reconstituição do crescimento passado de árvores que possuem anéis anuais (CAMPOS e LEITE, 2009), e podem ser feitas de forma destrutiva quando discos da árvore são retirados, ou não destrutivas quando a árvore não precisa ser derrubada. São usados métodos não destrutivos, nos quais são retirados cilindros do lenho à altura do peito (DAP) das árvores. FINGER (1992) afirma que as alturas de retiradas dos discos ou das amostras através de sondas, a 0,1 e 1,3 m são consideradas fixas, pois à base (0,1 m) representa a idade real, enquanto à altura de 1,3 m permite a obtenção de dados sobre a dinâmica do DAP, área transversal e fator de forma.

Figura 9 - Alguns equipamentos para coleta das amostras (A) Sondas de Pressler usadas para a coleta de amostras de tronco, (B) Medição do DAP da árvore, (C) Amostra de *Copaifera duckei* retirada com a sonda de 5mm, (D) Procedimento de coleta da amostra.

Assim, as amostras de lenho foram extraídas com auxílio sondas de Pressler (5 mm) que consiste em um método não destrutivo da árvore, à altura do peito, até atingir a medula; e em alguns casos a sonda atravessa o tronco da árvore, assim tendo uma amostra diametral.

As amostras foram colocadas em tubos de plástico, identificadas de acordo com o (i) tratamento de manejo ou controle, (ii) espécie (iii) numeração da árvore, e (iii) número do raio, e transportadas para um local ao livre para facilitar o processo de secagem. No total, foram coletadas amostras de 41 árvores (17 do tratamento de EIR, 10 de exploração convencional e 14 do tratamento sem exploração) com, em média, três raios de cada árvore.

As árvores também foram classificadas de acordo com i) quantidade de liana na copa, ii) forma da copa e iii) luz recebida foram realizadas por observação a olho nu.

Figura 4 - Esquematização de como foi caracterizado a iluminação das copas das árvores

A quantidade de lianas na copa foi feita da seguinte maneira:

- 0 = Ausência de lianas;
- 25-50% = da copa coberta;
- 50-75% = da copa coberta;
- 75-100% = da copa coberta;

Com relação à forma da copa, foi realizado um processo semelhante ao da quantidade de liana, porém agora sobre a forma da copa se encontra bem uniforme (75 a 100%) ou se não está uniforme (redonda), o que levá-la a decair as porcentagens.

4.6 Variação radial por densitometria de raios x

Depois do trabalho de campo, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Anatomia, Anéis de Crescimento e de Densitometria de Raios X em Madeiras, do Departamento de Ciências Florestais ESALQ/USP. No laboratório, para a obtenção dos perfis radiais de densidade do lenho, foi selecionada uma das amostras (podendo ou não conter dois raios em cada) de lenho de cada árvore da espécie. Cada amostra foi colada, com cola branca, em dois suportes de madeira (tipo um “sanduíche”), com as fibras dispostas no

sentido horizontal, para a análise de densidade, e colada novamente em um suporte de madeira maior, utilizando cola de silicone.

Figura 5 - Processos para a leitura do raio X (A) colagem das amostras em suportes tipo “sanduíche” (B) corte das amostras na máquina dupla serra (C) detalhe das amostras após o corte (D) bandejas com amostras na sala de climatização

Após 24 horas da colagem, as amostras foram seccionadas no sentido transversal (em média com 1,7 mm de espessura) em equipamento de dupla serra circular. Em seguida as amostras foram armazenadas em câmara de climatização (20°C; 65% UR; 24horas), para posterior análise por densitometria de raios X (ZUMAETA et al., 2009).

No dia seguinte após serem colocadas na câmara de climatização, as amostras foram retiradas da mesma e levadas ao equipamento de raio x digital Faxitron X-ray, modelo LX-60, onde foram expostas à varredura dos feixes de raios x. Os valores de intensidade de raios x que atravessaram as amostras são convertidos em densidade aparente a partir de uma escala de calibração de acetato de celulose mostrados na tela do computador conectado à

máquina de raio x construindo o perfil radial de densidade aparente do lenho através do *software* Faxitron Vision.

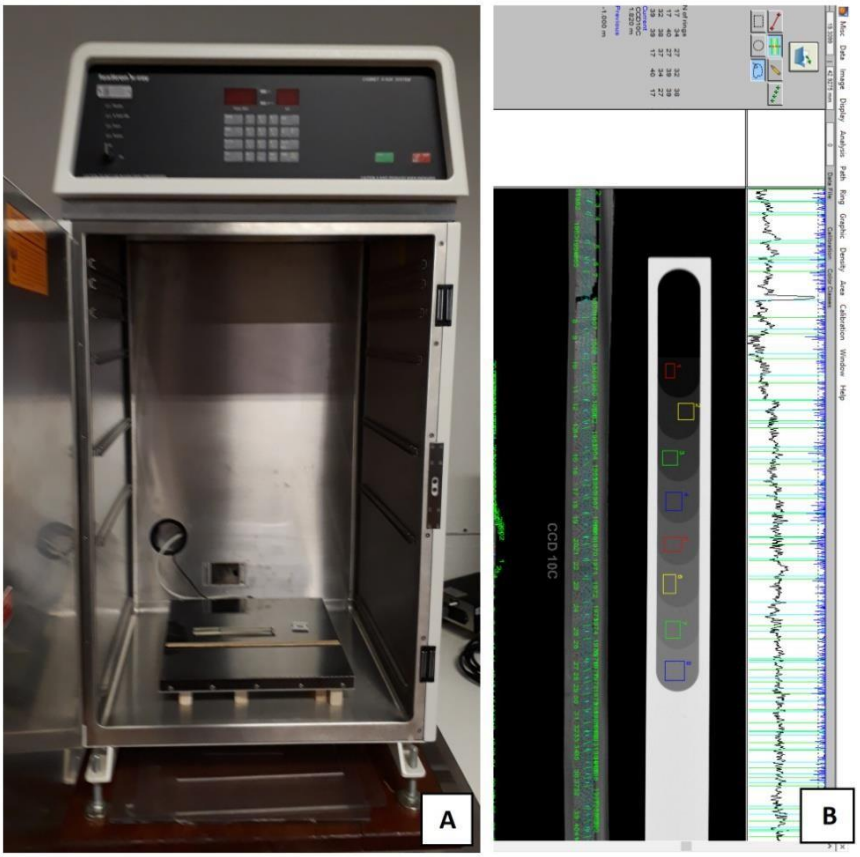

Figura 12 - Aparelho de raio x digital com amostra junto ao padrão de acetato e uma régua (A) Imagem da amostra de copaíba no *software* Windendro® (B)

Para a análise de densitometria utilizou-se 1 (um) raio completo de cada árvore (medula à casca), para melhor observação e padronização da variação da densidade das árvores em cada tratamento. Os resultados da variação radial da densidade da madeira para as 27 amostras (raios) de copaíba analisadas (10 de manejo, 9 exploração convencional e 8 da área sem exploração), obtidos pela aplicação da metodologia de raios X, foram expressos através dos valores pontuais de densidade aparente da madeira (g/cm^3).

4.7 Caracterização e aplicação da análise dos anéis de crescimento

Para a análise dos anéis de crescimento, as amostras do lenho foram coladas em um suporte de madeira para posterior polimento da seção transversal em uma série de lixas de

granulometria crescente (80, 120, 240, 320, 400 e 500) para evidenciar os anéis de crescimento.

Figura 6 - Processo de lixamento (A) amostras coladas em um novo suporte de madeira (B) amostras sendo lixadas (C) detalhe dos anéis da copaíba nas amostras

As amostras foram analisadas sob microscópio estereoscópico da marca Bel Photonics. Em seguida, as amostras foram digitalizadas em scanner Expression 12000XL (resolução 1200 dpi).

4.7.1 Construção das séries de largura dos anéis de crescimento

A demarcação, a contagem e a mensuração da largura dos anéis de crescimento foram determinadas pelo *software* Windendro (Figura 14), onde foram realizados os primeiros passos da datação cruzada das árvores, consistindo na identificação de padrões de crescimento que podem ser sincronizados entre as amostras de uma mesma árvore e entre árvores, possibilitando a construção de uma série cronológica de anéis de crescimento datados no ano exato de sua formação. Desta forma, é realizada a construção das cronologias da largura dos anéis de crescimento ou outra variável do lenho das árvores das espécies. (FRITTS, 1976).

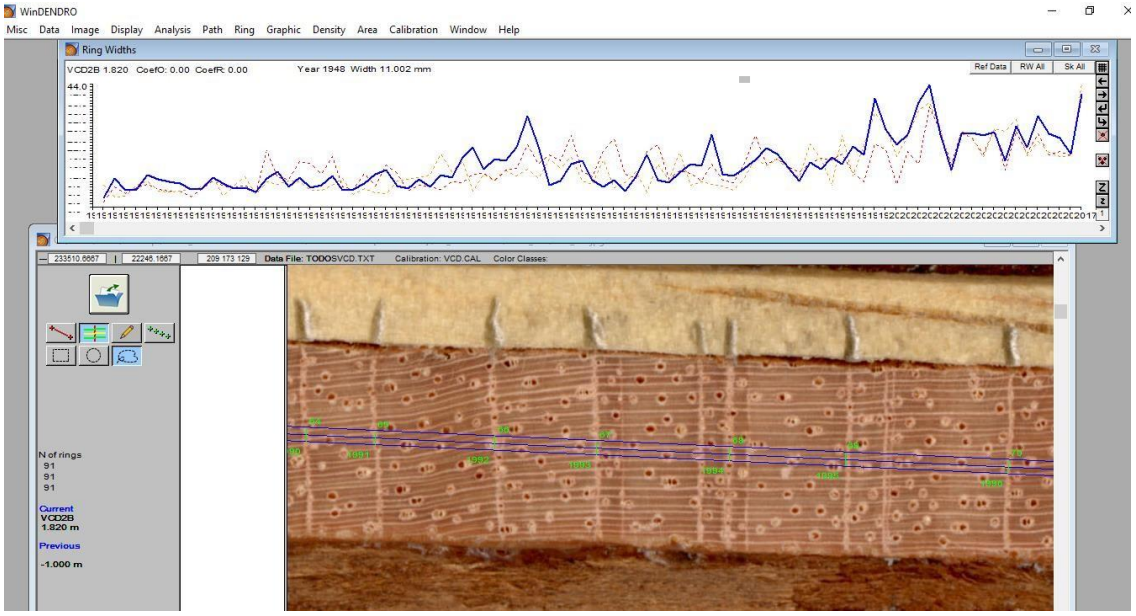

Figura 7 - Mensuração dos anéis nos raios de *Copaifera duckei* no *software* Windendro®. Como pode observar no gráfico, três raios já estão sendo correlacionados

Após a datação cruzada dos anéis de crescimento do lenho, foi realizado o teste da qualidade da sincronização do crescimento entre as amostras de cada espécie, utilizando o software COFECHA, obtendo-se uma série máster (média das séries individuais) a partir de todas as séries cronológicas (HOLMES et al., 1986). As correlações foram calculadas em períodos de 50 anos comparadas a cada 25 anos, com nível de confiança de 99%.

Para identificar padrões de crescimento da espécie, foi realizada a padronização do crescimento com o *software* ARSTAN 2.07, o qual ajusta uma função de regressão aos dados da largura dos anéis de crescimento para construir os índices cronológicos para espécie (COOK e HOLMES, 1984). Segundo CHAGAS (2009), a padronização corrige a heterogeneidade da variância dos dados de largura do anel de crescimento, uma vez que o desvio padrão dos índices deixa de ser função da média, como ocorria antes da padronização. Este processo tem dois objetivos (i) remover as tendências não climáticas, relacionadas com a idade das árvores e (ii) permitir que os valores padronizados das árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, sejam calculados juntos em uma função média.

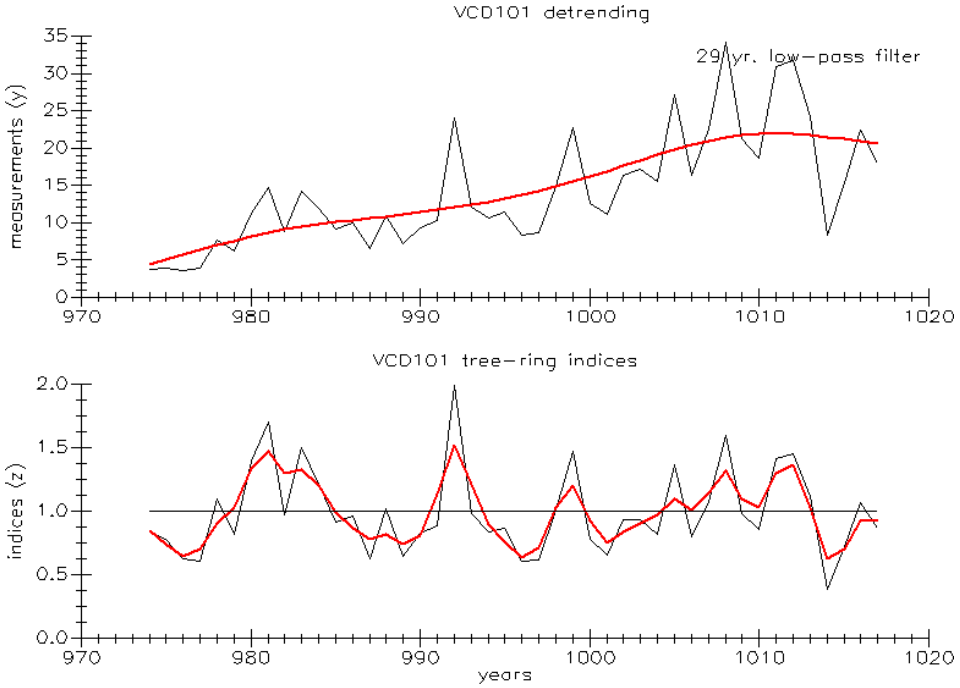

Figura 15 - Dados de largura dos anéis de crescimento (acima) e índice dos mesmos anéis (abaixo) de *Copaifera duckei* no tratamento de Exploração convencional após a remoção das tendências.

Para a datação cruzada foram usadas 30 árvores (sendo 10 árvores de cada tratamento), totalizando 95 raios. Para obter resultados melhores das correlações, foram excluídas árvores em que seus raios não mostraram uma boa correlação dentro da própria árvore, procedimento realizado por BRIENEN e ZUIDEMA (2005) em um estudo na floresta tropical boliviana, e FONTANA et al., (2018), com espécies de *Copaifera lucens* no estado do Espírito Santo, Brasil.

4.7.2 Análise das curvas de crescimento e incrementos do lenho pelos anéis de crescimento

Com os resultados da sincronização das larguras dos anéis gerados pelo Windendro, foi possível construir a análise de crescimento em diâmetro das árvores de copaíba. Nem todos os raios usados para as análises de dendrocronologia foram usados para as curvas de crescimento, pois algumas destas amostras i) não tinham medula e/ou ii) não possuíam uma visão perceptível dos anéis nessa área. Sendo assim, para a construção das curvas do diâmetro de crescimento, foram usados 91 raios provenientes de 28 árvores (9 de EIR, 10 da exploração convencional e 9 da área sem exploração). A partir dessas informações, foi possível calcular o diâmetro acumulado ao longo dos anos através dos anéis de crescimento.

Com o intuito de padronizar o crescimento médio das árvores de *Copaifera duckei*, os valores de diâmetro foram testados em vários modelos através do software CurvExpert Profissional, sendo o modelo Logistic Power (equação 1) o que mais se adequou em todos os tratamentos. A relação entre diâmetro e idade possibilitou construir curvas de incremento e médio em diâmetro em função da idade das árvores.

$$Y = A/(1 + (\frac{X}{B})^{C}) \qquad (1)$$

Sendo:

Y = diâmetro (cm)

A, B e C = coeficientes a serem estimados

X = idade (anos)

A partir deste modelo volumétrico, foi construído um diâmetro respectivo a cada idade das árvores nos três tratamentos. Já os valores de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA), equações 2 e 3 respectivamente, do lenho foram obtidos a partir do crescimento cumulativo (Crc) nos diferentes anos (t) (SCHONGART et al., 2007).

$$ICA = Crc\,(t + 1) - Crct \qquad (2)$$

Sendo:

ICA = Incremento corrente anual em diâmetro;

Crc = Crescimento cumulativo nos diferentes anos;

t = idade da árvore

$$IMA = Crct/t \qquad (3)$$

Onde:

IMA = Incremento médio anual em diâmetro;

Crct = Crescimento cumulativo até certa idade;

t = idade da árvore

4.8 Crescimento em diâmetro do tronco das árvores

Para um estudo inicial do crescimento e dos fatores que o influenciam foram observadas (i) quais árvores existiam nas duas listas (do inventário e do caderno de campo), (ii) quais das amostras dos IFs tinham o último DAP anotado, (iii) quais foram as árvores da coleta foram mensuradas seus anéis de crescimento. Para a análise estatística de comparação entre o crescimento pelo DAP dos IFs e mensurações de largura do anel, além desses fatores já citados, foram levadas em consideração as observações sobre a condição de iluminação recebida, porcentagem de copa e de cipós, devido a área ter sofrido exploração (abertura de clareiras) e ter uma forte presença de lianas.

4.9 Variação radial da densidade do lenho

Para a determinação da densidade aparente do lenho das árvores, foram analisados 33.890, 23.101 e 17.642 pontos de densidade nos três tratamentos com os valores de densidade média, máxima, mínima e desvio padrão mostrados na tabela 3.

4.10 Construção das séries

Foram usados 95 raios de *Copaifera duckei*, sendo 32 do tratamento de manejo, 32 de exploração convencional e 31 do tratamento sem exploração. Para cada árvore foi calculada a média das larguras dos anéis a partir dos valores obtidos para cada raio.

4.11 Identificação anatômica

4.11.1 Macroscópica

Após o polimento na superfície transversal da madeira, algumas características anatômicas do gênero, e às vezes da própria espécie, podem ser observadas a olho nu e/sob uma lente de 10x ou mais. As características anatômicas visualizadas estão ligadas à forma, tamanho ou distribuição dos elementos celulares: vasos, raios parenquimáticos e parênquima axial (ZENID; CECCANTINI, 2007).

4.11.2 Microscópica

Foram selecionadas as melhores amostras (sem injúrias ou outros comprometimentos) das árvores com mais de dois raios. Uma vez que toda a amostra é utilizada na obtenção dos perfis de densidade, sua utilização em procedimentos posteriores é inviabilizada.

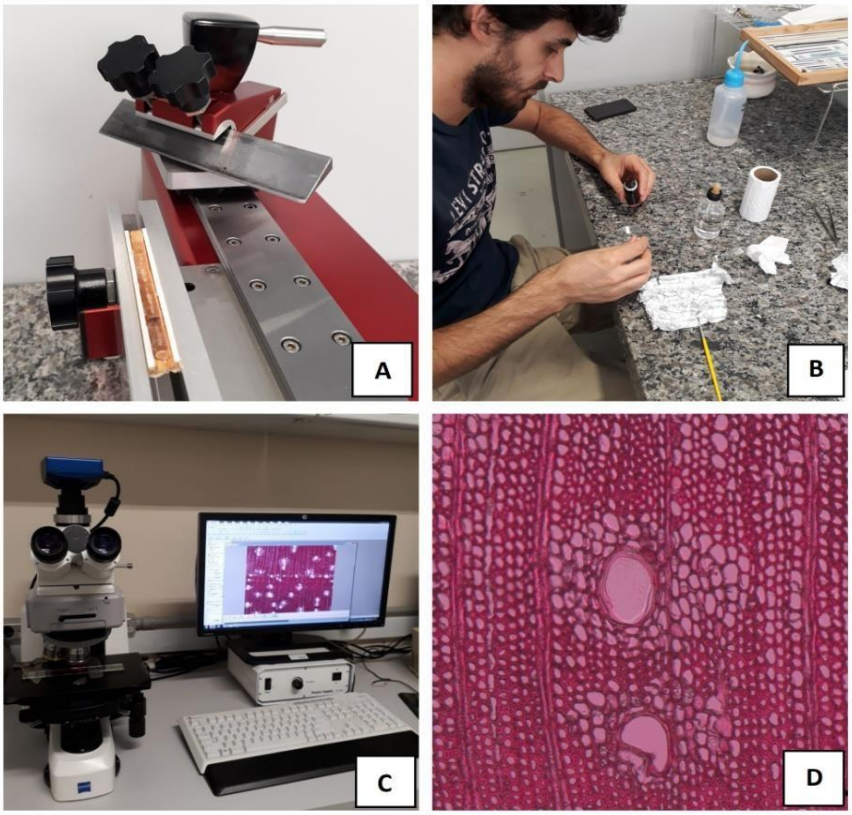

Figura 16 - Micrótomo de deslize para amostras extensas (A), Montagem das lâminas (B), Microscópio, câmera e computador usados para visualização das imagens (C) Detalhe do parênquima vasicêntrico, característico do gênero *Copaifera*

O micrótomo de deslize foi utilizado para a obtenção de cortes anatômicos do plano transversal, sendo realizada na sequência a coloração com safranina e montagem de lâminas histológicas em glicerina para melhor fixação entre lâmina e lamínula. Após as confecções das lâminas, foram tiradas fotos das mesmas com câmera AxioCam MRc acoplada no microscópio ZEISS Axio. As fotos foram obtidas com objetiva de 25x. A descrição da estrutura anatômica microscópica do lenho foi conduzida de acordo com as normas da IAWA Committe (1989).

4.12 Coleta dos dados ambientais

Os dados climáticos utilizados neste trabalho foram retirados da plataforma KNMI Climate Explorer (climexp.knmi.nl) com o auxílio do *Google Earth Pro* para identificação do local exato onde foi realizada a coleta. Os dados climáticos forma de precipitação e temperatura mínima mensais dos anos de 1960 a 2017.

4.13 Análise estatística

Foi realizada a ANOVA (*analysis of variance*) que indica se há diferenças significativas entre as médias; e quando houve esta diferença, foi realizado o teste Tuckey, através do *software* PAST, que indica qual e onde estão as diferenças (GOTELLI; ELLISON, 2011).

5. RESULTADOS

5.1 Caracterização anatômica

A madeira de *Copaifera duckei* apresentou cor variando entre marrom-avermelhada (principalmente no cerne), marrom-claro e um branco-bege (meio rosado). Os vasos e anéis de crescimento são perceptíveis a olho nu. Foram observados também canais secretores de óleos concentrados no limite de crescimento, no parênquima marginal, onde os anéis de crescimentos são marcados.

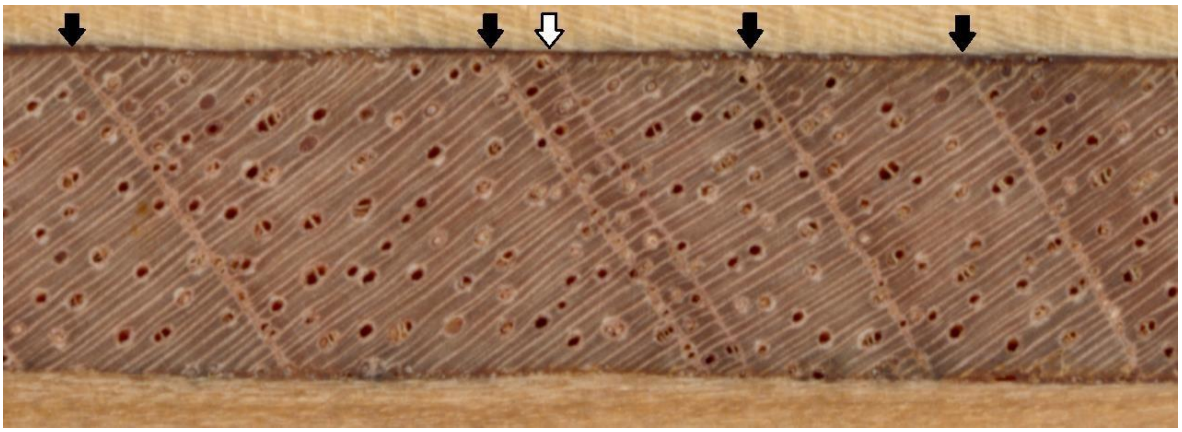

Figura 17 - Imagem da área transversal de *Copaifera duckei*. A seta preta indica anel de crescimento verdadeiro e a branca, um falso anel

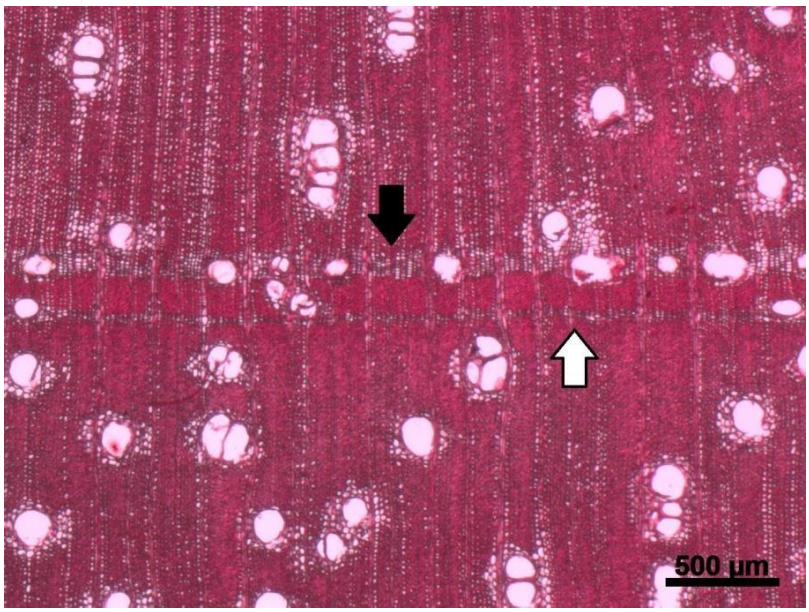

Figura 18 - Imagem transversal da *Copaifera duckei*. A seta preta indica anel de crescimento verdadeiro, a branca um falso anel

As análises de caracterização anatômica microscópica mostraram que a *Copaifera duckei* apresenta predominantemente parênquima axial paratraqueal vasicêntrico (figura 18), tendendo algumas vezes à aliforme, porosidade difusa, com vasos agrupados em grupos curtos de 2-3 vasos.

5.2 Crescimento em diâmetro: Anéis de crescimento *versus* Inventários florestais

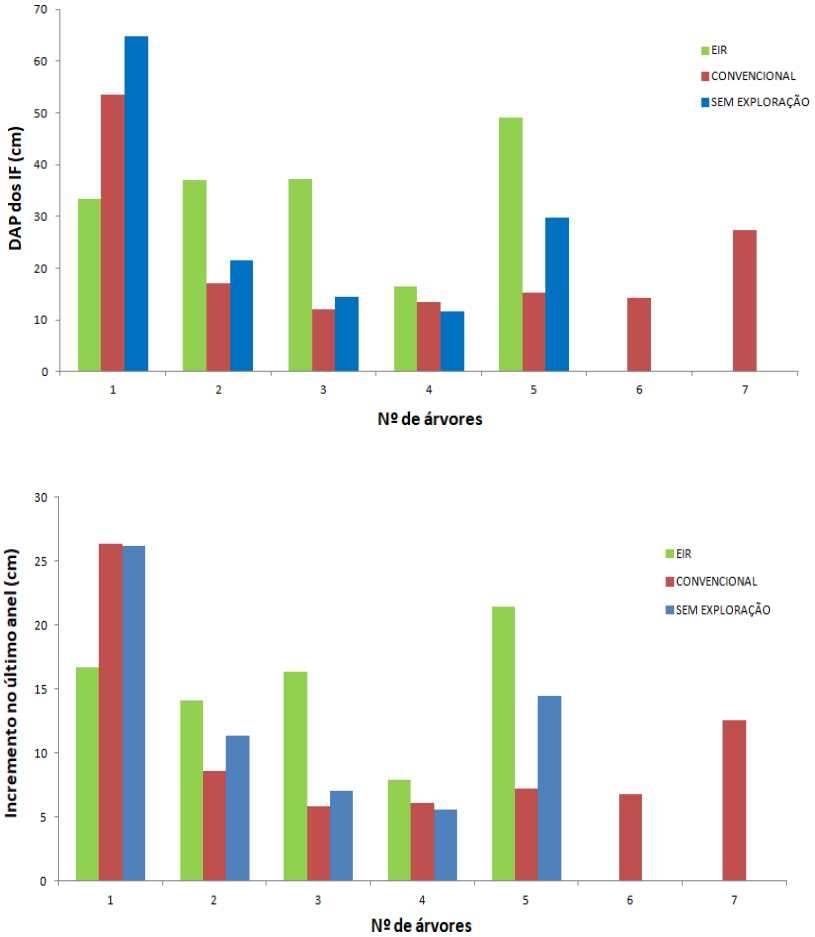

Figura 19 - Crescimento em diâmetro de árvores de *Copaifera duckei* de acordo com dados dos Inventários florestais de 2017 (acima) e de acordo com as mensurações dos anéis de crescimento do mesmo ano

Tabela 1- Análise de Variância entre os tratamentos e medições

Fonte da Varação	**SQ**	**GL**	**MQ**	**F**	**valor-p***	**F crítico**
Entre tratamentos	3589.428	5	717.885	4.561561	0.002976	2.512254
Dentro dos tratamentos	5036.069	32	157.3771			
Total	8625.498	37				

***** $p < 0,05$

Tabela 2 - Teste de Tukey das médias de DAP e mensurações dos anéis. Asteriscos indicam relação significativa ($p<0,05$).

	EIR (anéis)	**EIR (DAP)**	**E.C (anéis)**	**E.C. (DAP)**	**S.E (anéis)**	**S.E (DAP)**
EIR (anéis)		0.03482*	0.8685	0.9969	0.9836	0.671
EIR (DAP)	4.502		0.003587*	0.1606	0.01743*	0.7832
E.C (anéis)	1.587	5.756		0.674	0.999	0.1842
E.C. (DAP)	0.6626	3.506	2.105		0.8962	0.9185
S.E (anéis)	0.9532	4.902	0.5182	1.488		0.3902
S.E (DAP)	2.111	1.838	3.403	1.397	2.762	

Sendo:

EIR = exploração de impacto reduzido;

E.C = exploração convencional;

S.E = sem exploração.

5.3 Variação radial da densidade do lenho

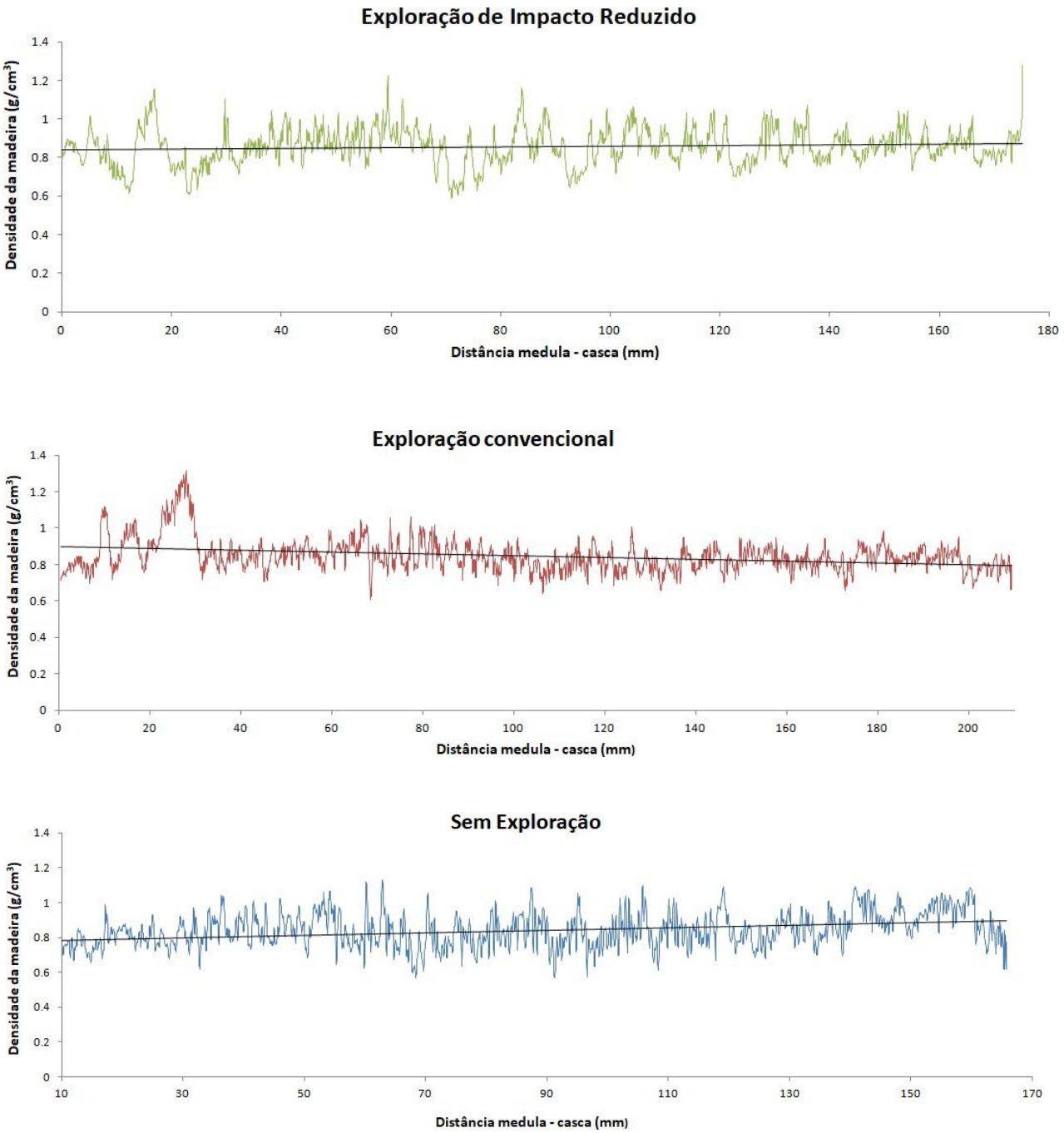

Figura 20 - Variação da densidade aparente do lenho das árvores da área de EIR, exploração convencional e sem exploração

Tabela 3 - Densidade aparente média, máxima, mínima e desvio padrão do lenho de árvores nos três tratamentos.

Exploração de Impacto Reduzido (Manejo)				
Árvore	**Densidade Média ($g.cm^3$)**	**Densidade Máxima ($g.cm^3$)**	**Densidade Mínima ($g.cm^3$)**	**Desvio Padrão**
1	0.87	**1.42**	0.62	0.08
4	0.86	1.09	**0.10**	0.09
5	0.86	1.23	0.60	0.09
6	0.80	1.20	0.54	0.10
8	0.86	1.26	0.61	0.07
9	0.86	1.13	0.61	0.09
10	0.85	1.28	0.20	0.10
13	0.89	1.11	0.20	0.09
15	0.91	1.17	0.71	0.07
16	0.80	1.20	0.54	0.10
MÉDIA	**0.87**	**1.21**	**0.45**	**0.09**

Exploração Convencional				
Árvore	**Densidade Média ($g.cm^3$)**	**Densidade Máxima ($g.cm^3$)**	**Densidade Mínima ($g.cm^3$)**	**Desvio Padrão**
1	0.85	1.17	**0.01**	0.10
2	0.70	1.02	0.27	0.07
4	0.78	1.02	0.51	0.10
5	0.89	1.27	0.65	0.08
6	0.85	1.31	0.61	0.09
7	0.90	1.23	0.37	0.10
8	0.85	**1.36**	0.10	0.13
9	0.86	1.32	0.61	0.11
10	0.91	**1.36**	0.49	0.10
MÉDIA	**0.85**	**1.21**	**0.40**	**0.10**

Sem Exploração				
Árvore	**Densidade Média ($g.cm^3$)**	**Densidade Máxima ($g.cm^3$)**	**Densidade Mínima ($g.cm^3$)**	**Desvio Padrão**
1	0.88	1.34	0.48	0.19
5	0.85	1.13	0.39	0.10
7	0.85	**1.42**	0.57	0.16
8	0.98	1.27	0.39	0.11
11	0.85	1.20	0.59	0.09
12	0.82	1.22	0.41	0.11
13	0.79	1.29	0.20	0.16
14	0.84	1.13	**0.11**	0.09
MÉDIA	**0.86**	**1.25**	**0.39**	**0.13**

Tabela 4 - Análise de variância entre as densidades das árvores nos três tratamentos

Fonte da Varação	**SQ**	**GL**	**MQ**	**F**	**valor-p***	**F crítico**
Entre tratamentos	0.002094	2	0.001047	0.55112	0.58265	3.354131
Dentro dos tratamentos	0.051301	27	0.0019			
Total	0.053395	29				

***** p>0,05

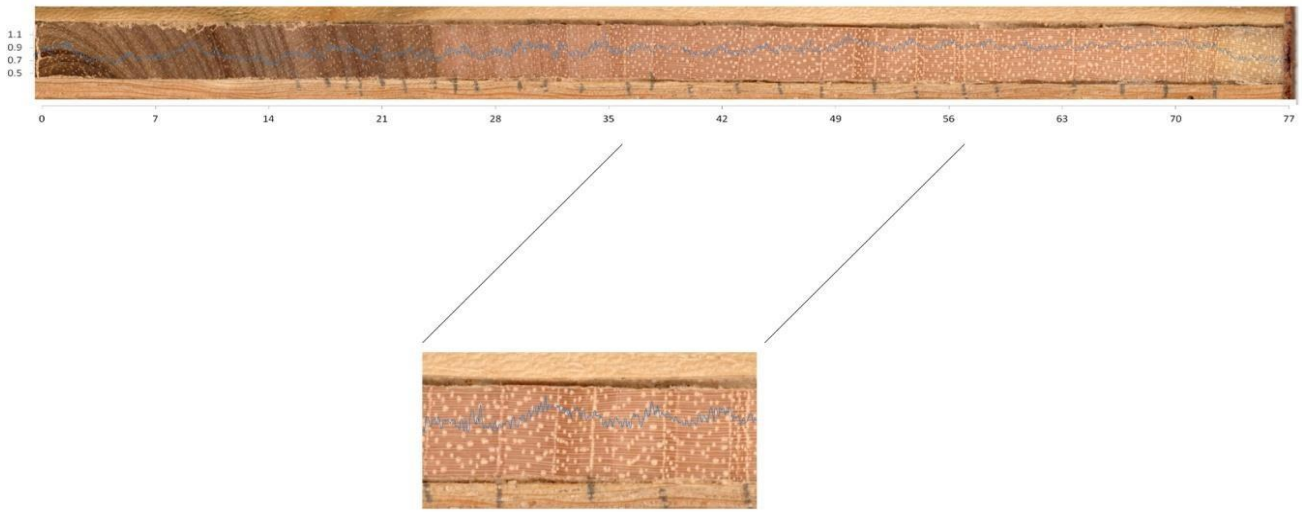

Figura 21 - Amostra do raio de *Copaifera duckei* com detalhe dos valores de densidade aparente em anéis de crescimento verdadeiros.

5.4 Curvas de crescimento

Nos resultados encontrados, as curvas de crescimento acumulado, apesar de semelhantes, apresentaram algumas características peculiares em cada tratamento. Pela regressão não linear do modelo usado para ajustar as curvas de crescimento da espécie, foram encontradas correlações positivas e significativas nos três tratamentos.

Tabela 5 - Equações e parâmetros para relação diâmetro e idade das árvores de copaíba

Tratamento	Equação	R (p< 0,00001)
EIR	$Y = 3.328/(1+(idade/28.962)^{-0.766})$	0.95
Exploração convencional	$Y = 2.746/(1+(idade/16.978)^{-0.926})$	0.97
Sem exploração	$Y = 3.444/(1+(idade/31.727)^{-0.742})$	0.96

Tabela 6 - Incremento médio máximo, Incremento corrente anual máximo em anos e seus incrementos no ano de IMA e ICA máximo.

Tratamentos	IMA máximo (em anos)	Incremento (cm)	ICA máximo (em anos)	Incremento (cm)
EIR	154	0.261	78	0.302
Convencional	68	0.208	36	0.245
Sem exploração	178	0.278	90	0.321

Tabela 7 - Valores mínimos, médios e máximos do incremento médio anual em diâmetro nos três tratamentos.

Incremento médio anual em diâmetro ($cm.ano^{-1}$)				
Tratamentos	**Mínimo**	**Média**	**Máximo**	**Desvio Padrão**
EIR	0.097	0.232	0.261	0.040
Convencional	0.092	0.1666	0.208	0.029
Sem exploração	0.099	0.247	0.278	0.047

5.5 Análise dendrocronológica

5.5.1 Construção das séries

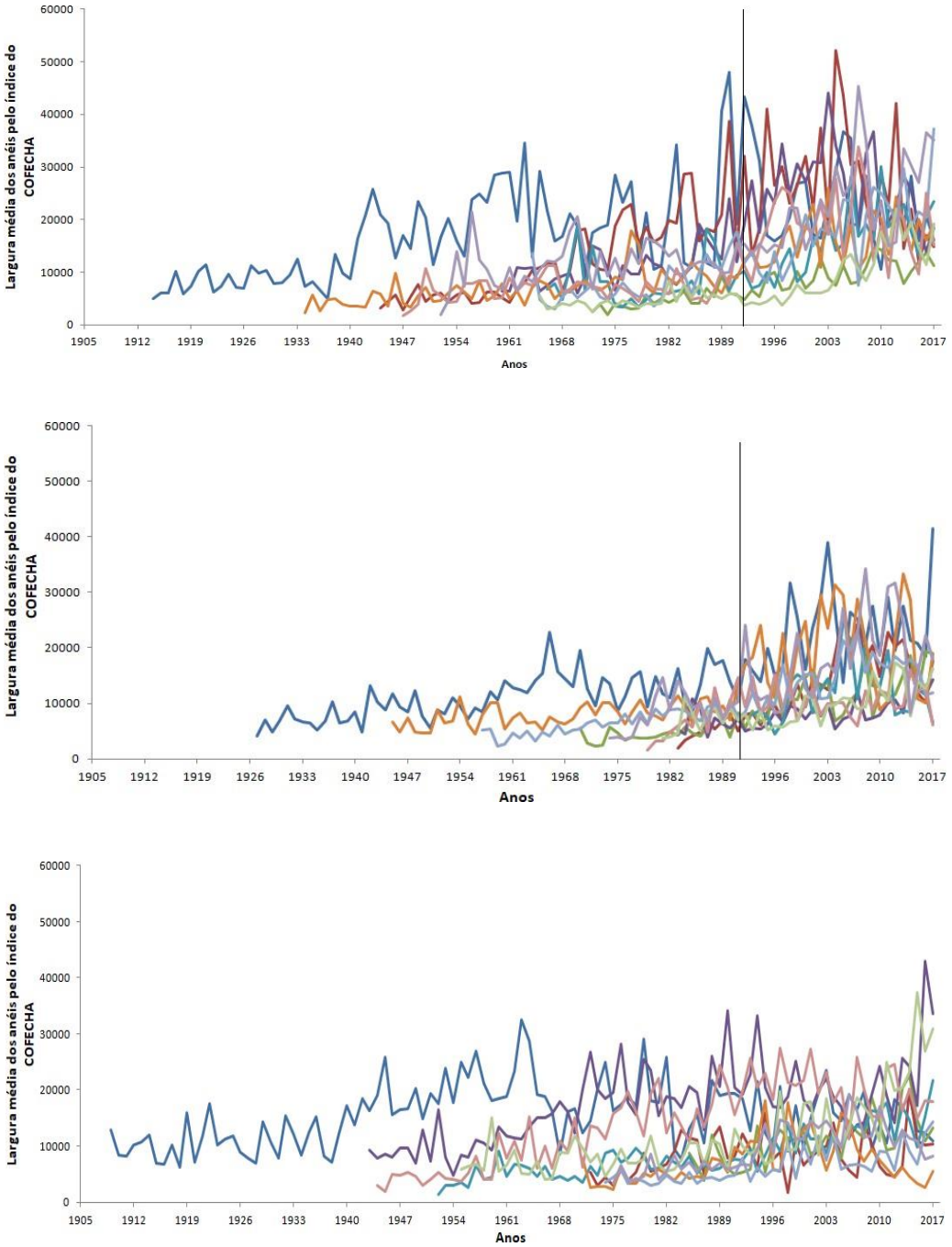

Figura 22 - Séries da média das larguras dos anéis de *C.duckei* nos tratamento de EIR (A), exploração convencional (B) e sem exploração (C). A linha preta (vertical) marca o ano de 1993 quando ocorreu a exploração

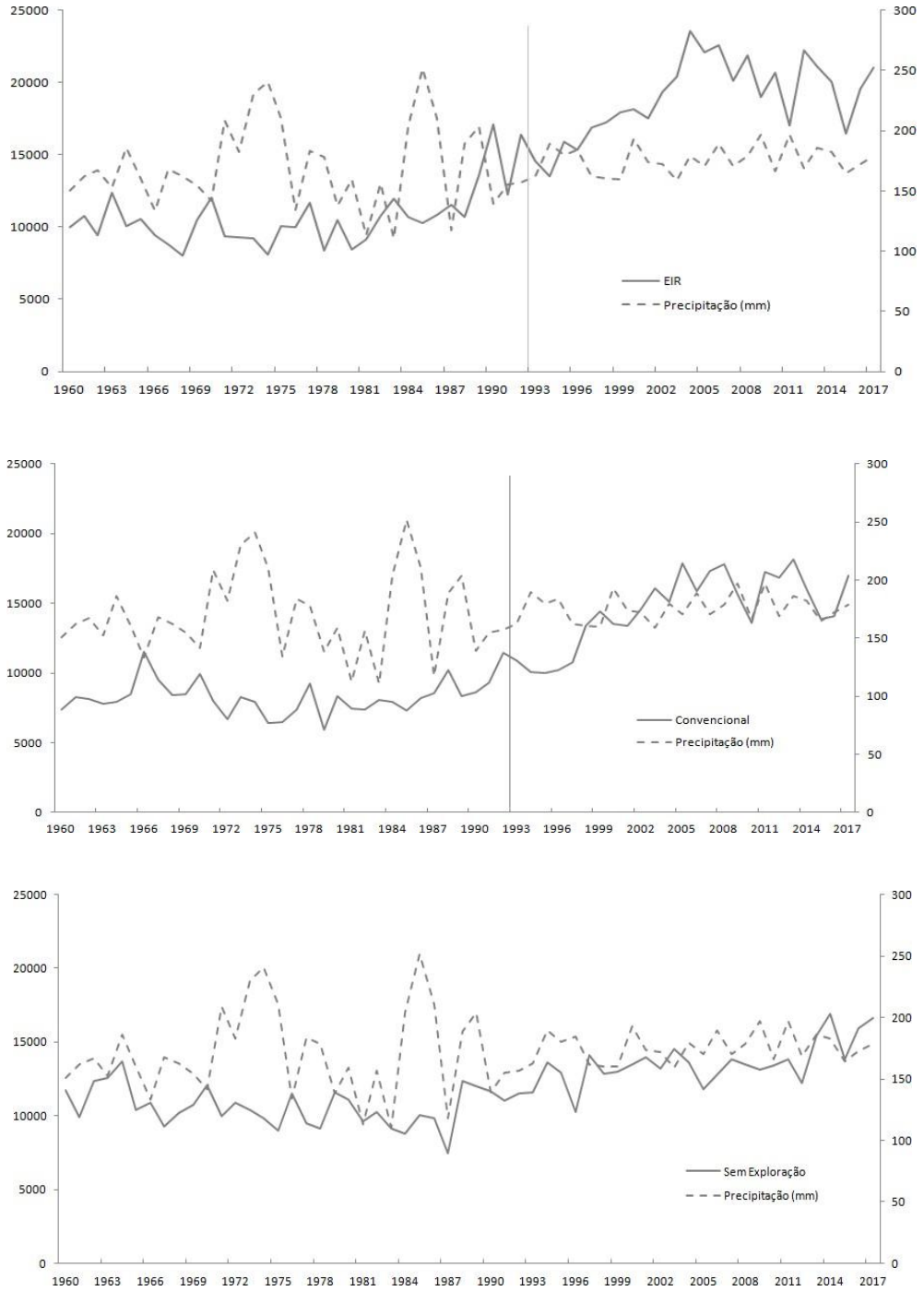

Figura 23 – Crescimento das árvores de *C. duckei* (linha contínua) relacionado com a precipitação (linha pontilhada) no período de 1960-2017. A linha cinza (vertical) marca o ano de 1993 quando ocorreu a exploração

Tabela 8 - Dados obtidos após a utilização do COFECHA para a espécie nos três tratamentos

Exploração de Impacto Reduzido (Manejo)						
Árvore	**Código**	**Nº Raios**	**Correlação**	**Total de anéis**	**Idade estimada (anos)**	**Sensibilidade média**
1	MCD5	4	0.375	182	58	0.358
2	MCD1	3	0.425	197	75	0.390
3	MCD3	2	0.435	185	------	0.364
5	MCD18	3	0.359	181	66	0.385
6	MCD6	4	0.514	198	52	0.456
10	MCD15	3	0.350	158	53	0.333
11	MCD10	3	0.421	189	71	0.369
13	MCD9	3	0.459	154	54	0.347
15	MCD8	3	0.418	243	84	0.386
17	MCD4	4	0.341	165	46	0.358

Exploração Convencional						
Árvore	**Código**	**Nº de raios**	**Correlação**	**Total de anéis**	**Idade estimada (anos)**	**Sensibilidade média**
1	VCD5	3	0.855	93	25	0.357
2	VCD8	3	0.427	109	39	0.422
3	VCD6	3	0.363	193	73	0.362
4	VCD9	3	0.454	109	37	0.347
5	VCD10	3	0.745	132	44	0.388
6	VCD1	4	0.361	129	35	0.370
7	VCD4	3	0.373	93	35	0.316
8	VCD2	3	0.338	273	91	0.364
9	VCD3	3	0.537	140	48	0.354
10	VCD7	4	0.331	224	60	0.298

Sem Exploração						
Árvore	**Código**	**Nº de raios**	**Correlação**	**Total de anéis**	**Idade estimada (anos)**	**Sensibilidade média**
2	CCD6	3	0.381	204	75	0.325
4	CCD1	2	0.357	72	46	0.402
5	CCD3	2	0.348	208	------	0.350
6	CCD4	2	0.556	66	33	0.356
7	CCD7	4	0.332	230	64	0.333
10	CCD13	4	0.404	140	44	0.404
12	CCD12	3	0.640	116	47	0.371
13	CCD15	3	0.421	184	63	0.427
15	CCD14	4	0.370	223	73	0.389
16	CCD16	4	0.480	164	43	0.323

O nível crítico de correlação de Pearson no programa COFECHA estabelecido é 0,328 com nível de significância $p < 0.01$. Como observado na tabela 8, as correlações obtidas dentro de cada árvore foram positivas e superiores ao nível estabelecido; além do seu valor de sensibilidade estar, na maioria dos casos, acima de 0.30 que, segundo GRISSINO-MAYER (2001) significa que séries de medidas sensíveis às variações climáticas.

5.5.2 Correlação dos anéis de crescimento do lenho com variáveis climáticas

Os resultados obtidos para a espécie *Copaifera duckei* nos diferentes tratamentos, bem como a relação entre crescimento e variáveis climáticas (ex. precipitação e temperatura), foram analisados a partir de uma série climática de 57 anos (1960-2017). Apesar de existirem árvores cujo ciclo de vida iniciou-se anteriormente à 1960, essa margem de tempo foi estabelecida em função da maior estabilidade e confiabilidade dos dados climatológicos disponíveis. Como observado por MIRANDA et al., (2019) em estudo realizado com a mesma espécie, fatores climáticos de anos anteriores podem refletir na atividade cambial, e consequentemente, no crescimento das árvores no ano corrente. Assim, também foram realizadas as correlações referentes ao ano anterior à formação do anel, representado por (-1) para os meses prévios, e (+1) para os meses do ano seguinte, além dos meses do ano corrente.

A correlação ($r = 0.259$) entre os índices de largura dos anéis da espécie no período de 1960 a 2017 foi satisfatória com relação à precipitação nos tratamento de EIR e no que não houve exploração apresentando correlação positiva nos meses de muitas chuvas, porém no tratamento convencional houve correlação positiva em meses de baixa precipitação e correlação negativa em meses de alta precipitação.

Para as análises com a temperatura, foram utilizados os dados de temperatura mínima visto que não houve diferença entre as duas na correlação usando a temperatura máxima.

Na parcela de EIR houve um grande número de meses correlacionados positivamente com a temperatura. Na convencional apenas dois meses do ano prévio correlacionados negativamente. E na área sem exploração também apenas correlações negativas.

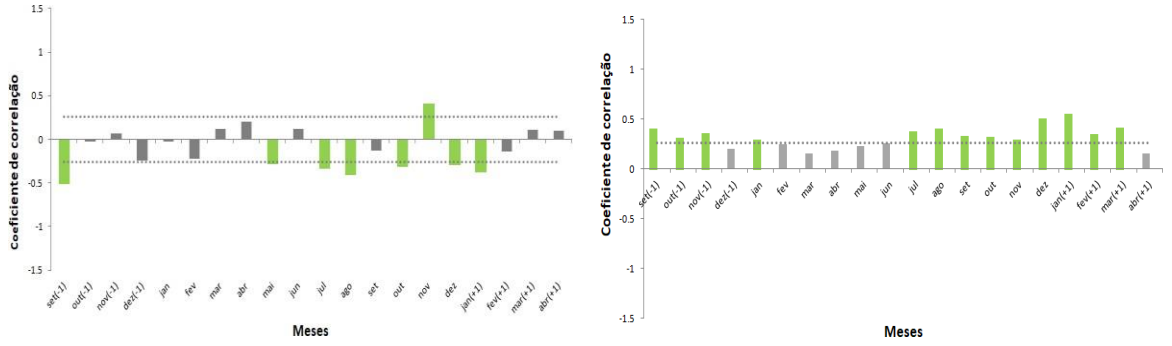

Figura 24 - Coeficientes de correlação dos índices de cronologia de *C. duckei* e das variáveis de precipitação mensal acumulada (esquerda) e temperatura média (direita) para o tratamento de EIR nos anos de 1960-2017. A linha pontilhada representa a correlação r = 0.259, sendo significativo (p<0,05) os valores superiores (cor verde) ao valor do coeficiente

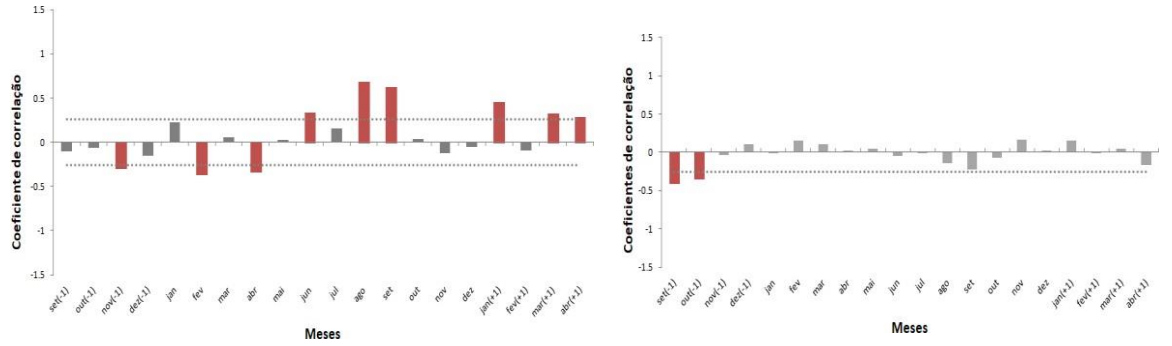

Figura 25 - Coeficientes de correlação dos índices de cronologia de *C. duckei* e das variáveis de precipitação mensal acumulada (esquerda) e temperatura mínima (direita) para o tratamento de Exploração convencional nos anos de 1960-2017. A linha pontilhada representa a correlação r = 0,259, sendo significativos (p < 0,05) os valores superiores (cor vermelha) ao valor do coeficiente.

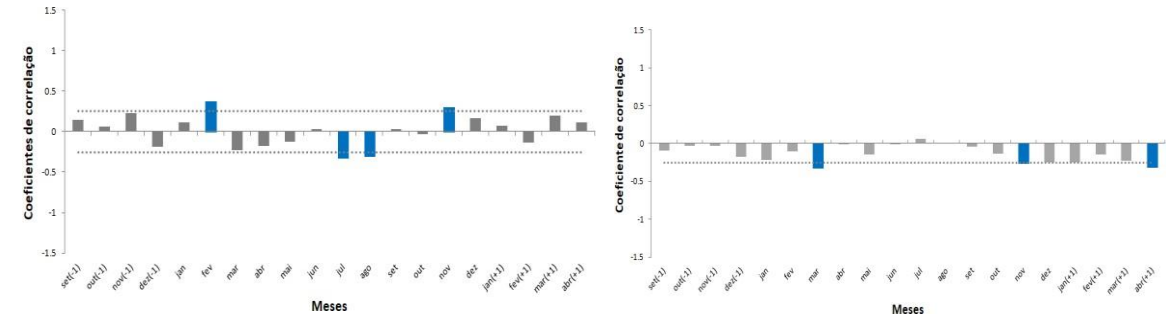

Figura 26 - Coeficientes de correlação dos índices de cronologia de *C. duckei* e das variáveis de precipitação mensal acumulada (esquerda) e temperatura mínima (direita) para o tratamento onde não houve exploração nos anos de 1960-2017. A linha pontilhada representa a correlação r = 0.259, sendo significativos (p<0.05) os valores superiores (cor azul) ao valor do coeficiente.

5.5.2.1 Situação 1: Antes da exploração madeireira (1960-1992)

Ao analisarmos separadamente os períodos que precederam a exploração madeireira referente aos dois tratamentos que sofreram esta exploração, encontramos resultados distintos, apesar das três áreas estarem sob os mesmos efeitos das variáveis climáticas. No entanto, como já observado neste trabalho, todos os tratamentos possuem árvores de idades e incrementos distintos que são motivos para estes resultados diferentes. Para POOTER e BORGES (1993), outros fatores podem afetar de alguma forma o desenvolvimento da árvore, como: disponibilidade de recursos ambientais, condições locais (como competição e distância entre as árvores, tipo de solo, proximidade de cursos d'água), tamanho da árvore, genética, além de sua história de amadurecimento que pode afetar seu crescimento, assim como o crescimento de árvores ao redor.

A correlação (r = 0.344) para a situação de antes da exploração foi superior à correlação ao comparar todos os anos juntos (1960-2017) que foi de 0.259; já apresentando seu primeiro contraste. GRAÇA MARTINS (2014) diz que quanto maior o valor de *r*, maior será o grau de associação linear entre as variáveis. Porém, é bom frisar que o intervalo de anos e, consequentemente das análises de precipitação e índices das larguras dos anéis, foi menor. É importante lembrar que, apesar de nesse período nenhuma das áreas terem sofrido ainda exploração, as nomenclaturas usadas aqui serão as mesmas para facilitar o entendimento e comparações.

Para o tratamento sem exploração, notou-se correlação positiva nos meses de fevereiro e novembro, assim como quando analisado no intervalo de 1960 a 2017. No tratamento de EIR, as correlações são muito parecidas com as realizadas no intervalo de anos citado Já no tratamento que virá a ser de exploração convencional, as alterações foram em maior número, mas não diferenciou muito do que já havia sido observado.

De acordo com os dados de variações climáticas coletados, a região estudada não possui grandes variações de temperaturas. A média de temperatura em Paragominas em praticamente todos os meses é em torno de 26ºC, variando pouco para mais e/ou para menos (Climate-data, 2019).

No tratamento sem exploração houve correlação positiva com a temperatura no mês fevereiro e novembro No tratamento que virá a ser de manejo (impacto reduzido), continuaram presentes em vários meses. Já no futuro tratamento de exploração apresentou somente correlações positivas.

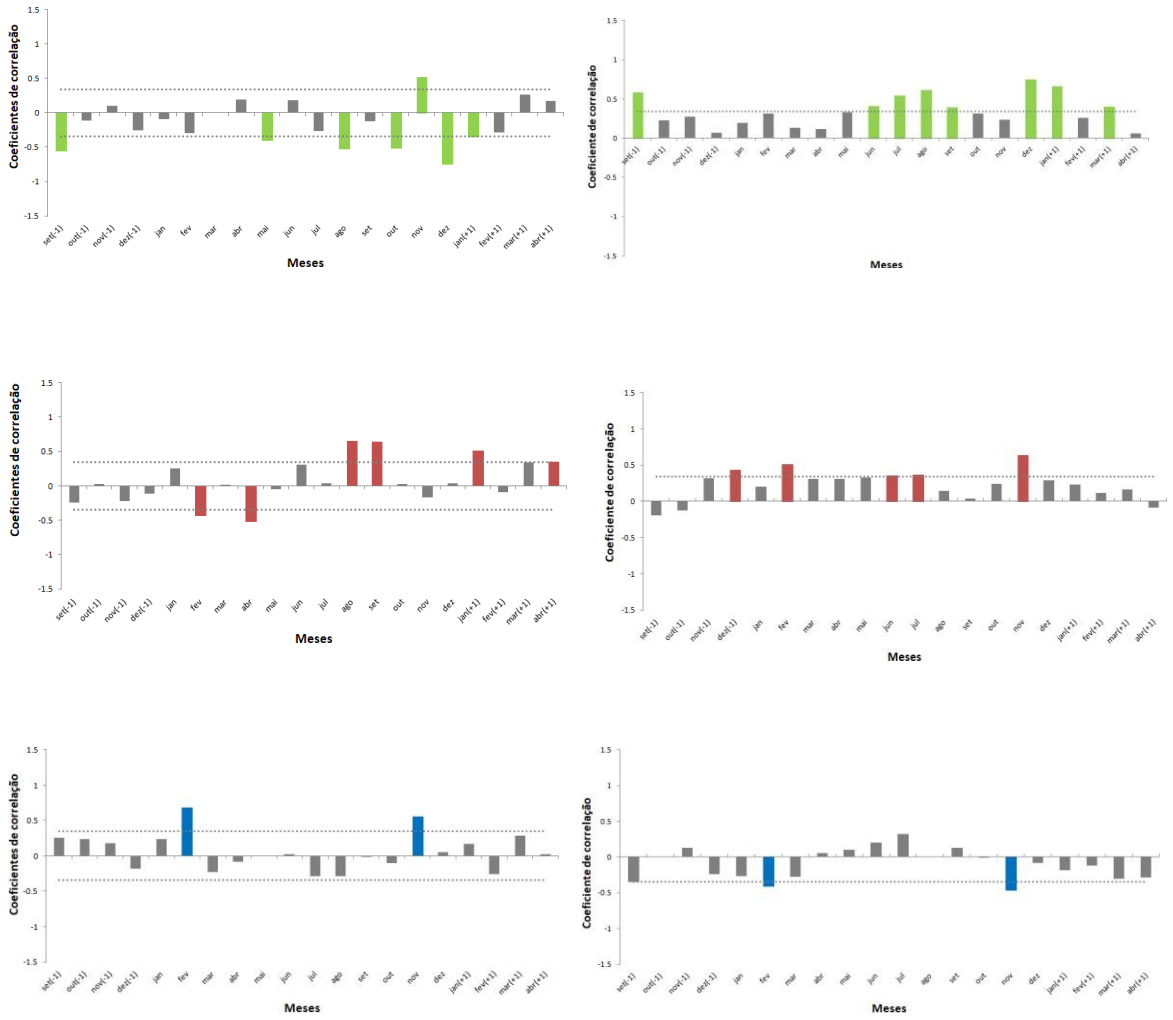

Figura 27 - Coeficientes de correlação dos índices de cronologia de *C. duckei* e das variáveis de precipitação mensal acumulada (esquerda) e temperatura mínima mensal (direita) nos anos de 1960-1992 para o tratamento de EIR, exploração convencional, e onde não houve exploração, respectivamente. A linha pontilhada representa a correlação r = 0,344, sendo significativos ($p < 0,05$) os valores superiores (cor verde, vermelha e azul) ao valor do coeficiente.

5.5.2.2 Situação 2: Após exploração madeireira (1993-2017)

A correlação para o período pós-exploração foi de 0.396, sendo superior entre os dois já mostrados, no entanto o intervalo de tempo foi menor. Enquanto que na primeira análise são observados 57 anos, na segunda foram 32 anos, e na terceira 24 anos (1993 a 2017).

Apesar de não ter sofrido alteração de exploração madeireira como os outros dois tratamentos, a fim de comparação com os demais estudos, a parcela sem exploração continuará a ser abordada neste tópico, e mesmo assim, apresentou mudanças em seus resultados de correlação positiva, onde não mais apareceram fevereiro e novembro, mas sim novembro do ano anterior, dezembro e abril, porém ainda assim meses com considerados com alta precipitação, tanto no ano corrente como no mês do ano prévio.

Na EIR não houve correlação positiva com a precipitação, apenas negativa principalmente com meses de anos prévios e posteriores.

Para o tratamento de exploração convencional foi observada correlação positiva para os meses de julho, agosto e novembro.

Com relação à temperatura nos tratamentos após o período exploratório, a parcela que não houve nenhum tipo de exploração também foi analisada para estudos de comparação, tendo correlação positiva com o mês de abril do ano seguinte.

O tratamento de impacto reduzido aumentou sua margem de correlação comparada às duas análises de intervalo de tempo vistas anteriormente, tendo correlações positivas com a temperatura nos meses setembro, outubro e novembro do ano prévio e , janeiro e fevereiro do ano seguinte.

Por fim, o tratamento de exploração convencional também aumentou bastante seu leque de correlações tanto positivas com os meses mostrando um comportamento bem diferente que as primeiras análises.

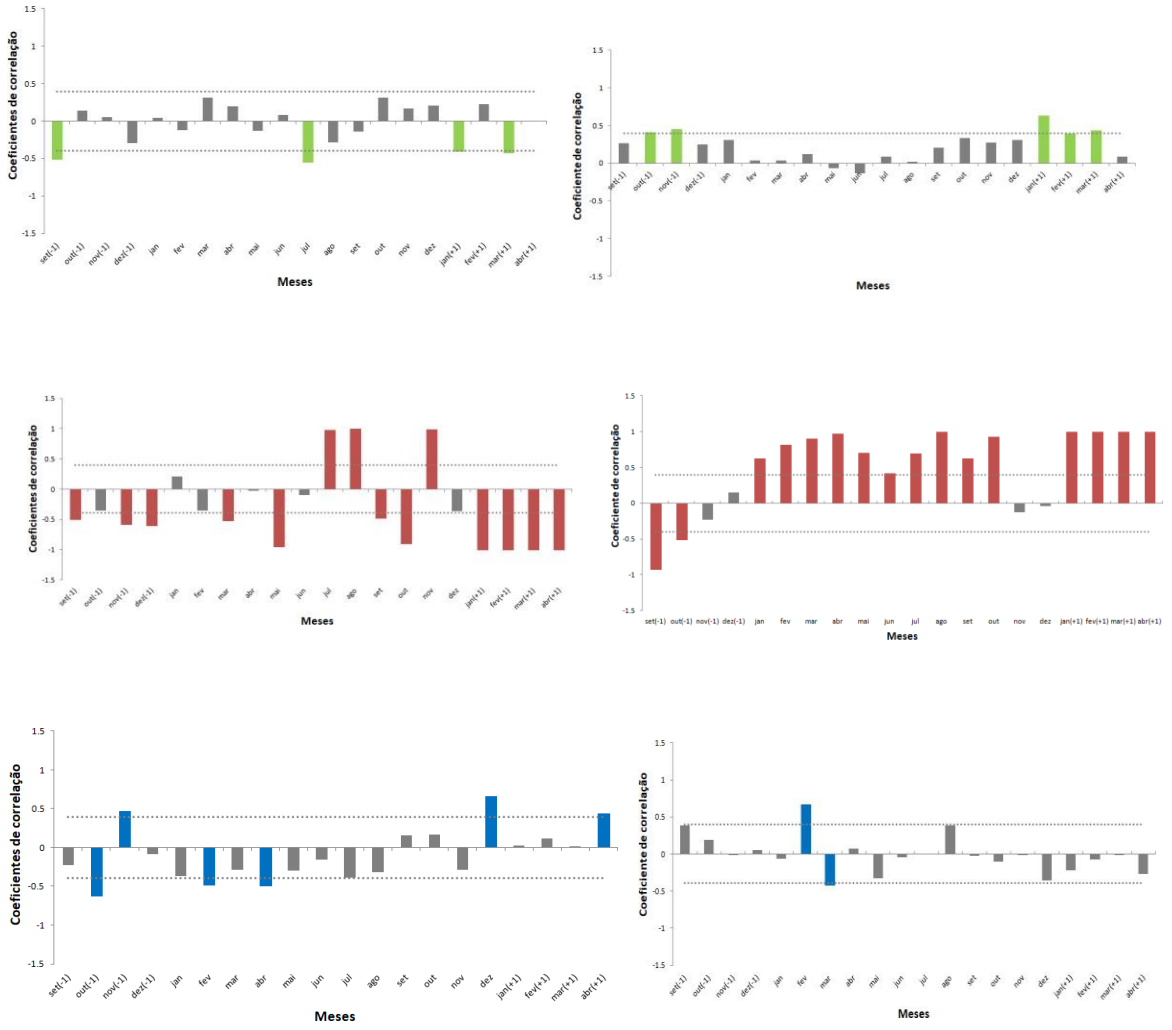

Figura 28 - Coeficientes de correlação dos índices de cronologia de *C. duckei* e das variáveis de precipitação mensal acumulada (esquerda) e temperatura mínima mensal (direita) nos anos de 1993-2017 para o tratamento onde não houve exploração, EIR, e exploração convencional, respectivamente. A linha pontilhada representa a correlação r = 0.396, sendo significativo ($p < 0.05$) os valores superiores (cor verde, vermelha e azul) ao valor do coeficiente.

6. DISCUSSÃO

6.1 Identificação anatômica

As características gerais anatômicas encontradas na espécie para este trabalho coincidem com as encontradas pelo IPT (1978), RICHTER e DALLWITZ (2000) e MEDEIROS (2016). Os canais de óleo de copaíba, sempre que presentes, estão associados ao parênquima marginal, que são característicos de outras espécies do gênero como encontrados em FONTANA et al., (2018). Porém não é sempre que estão presentes, como observado por MELO JUNIOR et al., (2011) e MARCATI et al., (2001) quando descreveram, pela primeira vez, em *Copaífera langsdorffii* faixas de parênquima sem canais secretores, assim como neste trabalho.

Segundo ALVES e ANGYALOSSY-ALFONSO (2002), o parênquima paratraqueal tem uma tendência de estar associado às baixas latitudes e, consequentemente, a temperaturas mais elevadas. A copaíba estudada neste trabalho apresentou porosidade difusa, que para METCALFE e CHALK (1989) é uma característica muito marcante em Eudicotiledôneas.

Assim, a descrição da estrutura anatômica e delimitação dos anéis anuais da madeira são muito importantes para realização e suporte das análises dendrocronológicas para intensificar o uso das árvores para estratégias de manejo florestal, garantindo a melhor utilização dos recursos florestais e promovendo a sustentabilidade (SCHÖNGART, 2008).

6.2 Crescimento em diâmetro do tronco das árvores

Como apresentado nos resultados prévios (item 5.2), 24 árvores ao todo foram selecionadas para observação e análises de crescimento. Pela análise de variância, que testa a hipótese de que as médias de dois ou mais tratamentos são iguais utilizando variâncias para determinar se as médias são diferentes, houve diferença significativa ($F>F$ crítico) ao nível de significância escolhido ($p<0.05$) entre os tratamentos com os dados dos IFs com os anéis mensurados pelo Windendro. Porém o resultado da ANOVA não indica qual ou quais tratamentos apresentaram diferença significativa; para isso foi realizada o teste Tukey que permite a formação de intervalos de confiança ao mesmo tempo para todas os pares, e assim indicar qual ou quais tratamentos tiveram estas diferenças (WALPOLE et al., 2009).

Entre cada uma das metodologias usadas, separadamente, não houve diferença significativa, no entanto quando abordamos todas juntas, com todos os tratamentos, houve

diferença entre os tratamentos de i) EIR (anéis) *versus* EIR (DAP), ii) EIR (DAP) *versus* Exploração convencional (anéis), e iii) EIR (DAP) *versus* Sem exploração (anéis), como mostrado na tabela 3. Isto se deve ao fato que as medições dos IF foram feitas com fitas métricas e as dos anéis de crescimento com software computacional, além de em ambos os métodos as árvores, provavelmente, serem diferentes e de idades diferentes, além da peculiaridade biológica de cada árvore que juntando aos fatores externos, como a exploração madeireira, podem ter influenciado no crescimento em diâmetro.

Em VIDAL et al., (2002), também foi realizado um estudo de crescimento nesta mesma área e entre estes mesmos três tratamentos, no entanto i) apenas nos primeiros três anos (1994, 1995 e 1996) após a exploração, ii) árvores que mantiveram a mesma abertura do dossel e iii) árvores acima de 10 cm de DAP.

As árvores no tratamento de manejo (EIR) apresentaram incremento periódico anual em DAP de 0.63 cm/ano, ou seja, quase duas vezes maior do que nos tratamentos sem exploração e sem manejo adequado (0.37 cm/ano), que os autores chamam de testemunha (0.33 cm/ano). É importante notar que, na área sem manejo, as árvores tiveram um incremento maior do que na área testemunha (sem exploração), o que confirma a análise realizada neste trabalho (também usando os três anos seguintes à exploração) com largura dos anéis onde o incremento corrente anual foi maior no tratamento de EIR (0.23 cm/ano), sendo superior aos dos outros dois tratamentos: 0.18 cm/ano no de exploração convencional e 0.21 cm/ano no tratamento sem exploração.

Os resultados expostos acima foram compatíveis com os encontrados por HIGUCHI et al., (1997), também na Amazônia, que observaram que as árvores na área com manejo cresceram o dobro do que aquelas da área em que não houve nenhum tipo de exploração, e também em CARVALHO (1992) em um estudo na FLONA (Floresta Nacional) do Tapajós, em Santarém, no estado do Pará, onde encontrou incremento igual a 0.4 cm/ano para a área com manejo e 0.2 cm/ano para a área onde não ocorreu colheita de madeira. ARAUJO et al., (2011) também encontraram resultados com 12 espécies na FLONA do Tapajós numa área de que sofreu exploração de impacto reduzido; a taxa de crescimento ficou em torno de 0.23 cm/ano.

As árvores de florestas tropicais normalmente apresentam baixas taxas de crescimento devido à intensa competição por luz e nutrientes a que são submetidas, além de muitas terem seu crescimento afetado tanto pelas copas que acabam as sombreando, quanto ao excesso de cipós nas mesmas.

Muitas das árvores utilizadas neste trabalho tiveram seus dados de luz, porcentagem de copas e cipós observados, e foi possível concluir pelos dados obtidos que a incidência maior de luz influência no crescimento da árvore (em torno de 0.30 cm.ano), assim como árvores que apresentaram cipós na sua copa também foram árvores de baixo crescimento (em torno de 0.15 cm.ano). Uma pesquisa realizada por COSTA et al., (2008), indicou que o crescimento das árvores sem cipós foi 88% maior do que das árvores tomadas/cobertas por cipós.

Os resultados encontrados por ARAÚJO et al., (2011) corroboram com o resultado observados neste trabalho. GONZÁLES (2013) também analisou árvores de *Tectona grandis* e *Pinus caribea* de Piracicaba, São Paulo, e também constatou que, para as duas espécies, as árvores sem lianas têm uma melhor correlação que as árvores com lianas. O resultado da correlação entre os índices da largura dos anéis foi de 0.55 e 0.64 em árvores de Teca com e sem liana, respectivamente, e 0.55 e 0.60, para as árvores de Pinus, com e sem lianas, respectivamente.

No entanto, vale lembrar que retirada das lianas das árvores é uma prática comum nos tratamentos silviculturais, visando à diminuição da competição com as árvores quanto à redução dos danos da colheita de madeira (ENGEL; FONSECA; OLIVEIRA,1998).

As elevadas taxas de incremento e frequentes recrutamentos de novas árvores, Segundo FINEGAN et al., (1999) constituem o primeiro indicativo de que a floresta possui características favoráveis ao manejo para produção de madeira, e que o conhecimento dessas é de fundamental importância para o planejamento da produção e determinação dos ciclos de corte de florestas tropicais.

6.2 Variação radial da densidade do lenho

A densidade é uma das propriedades da madeira mais importante e mais estudada, podendo variar de 0.13 a 1.40 g.cm³, (BURGER e RICHTER, 1991). Esta é uma variação considerável, porém compreensível devido as diferentes propriedades e características da madeira. De acordo com ALVARADO (2009) e FERREIRA (2013), existe mais variabilidade nas características do lenho no tronco de uma mesma árvore, do que entre árvores crescendo em um mesmo sítio ou em sítios diferentes, com maior variação de densidade dentro de um mesmo anel de crescimento, devido à formação de lenho inicial

(largo e de baixa densidade) e tardio (mais estreito e de maior densidade). Há também um padrão de densidade do lenho nos sentidos medula-casca, da base para o topo, e em diferentes lados do tronco.

As médias das densidades aparentes encontradas em *Copaifera duckei* foram de 0.87 g.cm³, 0.85 g.cm³ e 0.86 g.cm³ nos tratamentos de EIR, Convencional e Sem exploração, respectivamente. Valores superiores aos encontrados na literatura, onde mostram a copaíba com densidade aparente de 0.69 g.cm³ (15% de umidade) (LOUREIRO et al., 1979; ITP, 1989). Um resultado de densidade diferente já era esperado, pois a densidade pode variar entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie, em diferentes partes de uma árvore e sentidos do tronco (FERREIRA, 2013).

De acordo com NUGROHO et al., (2012), a densidade da madeira está relacionada diretamente com seus elementos anatômicos, sobretudo com a dimensão das células e espessura da parede. No entanto, a variação de idade entre as árvores também é um fator da diferença de densidade entre as árvores e tratamentos. MEDEIROS (2016) encontrou variação de densidade de *Copaifera multijuga* em árvores de plantação e população natural.

Neste trabalho foi realizado a ANOVA com as médias das densidades, e não houve evidências de diferenças significativas ao nível de significância escolhido ($p>0.05$). Porém, como se pode observar (figura 20), há uma leve inclinação nas linhas de tendências. Enquanto no tratamento de EIR a linha se encontra mais uniforme (reta), com uma sutil acentuada para baixo, a de exploração convencional teve uma inclinação mais perceptível para a mesma direção. Já no tratamento sem exploração, a linha de tendência mostrou uma inclinação para cima.

Enquanto há uma discrepância significativa nos valores de densidade de mínimo e máximo entre as árvores de EIR com as de demais tratamentos, a média ficou mais uniforme entre eles, sendo a de EIR a maior dentre elas.

Não foram realizadas neste trabalho caracterizações anatômicas mais precisas para análises de vasos e fibras, no entanto sabe-se que a densidade, como já mostrado, é influenciada pelos elementos anatômicos. Pelo que foi observado nesta pesquisa, a idade das árvores e sua exposição à exploração pode ter influência direta na densidade, como verificado por ROQUE e TOMAZELLO (2005). No referido trabalho foram analisadas densidades de árvores de *Gmelina arbórea*, da família Lamiaceae, da Costa Rica, em diferentes intensidades de manejo e clima, sendo que os resultados da análise da variância mostraram que a densidade média da madeira do anel de crescimento foi afetada

significativamente pela idade das árvores, clima e intensidade de manejo e por algumas combinações destes fatores.

Sobre a demarcação de anéis de crescimento com o auxílio da densitometria por raios X na identificação do limite dos anéis de crescimento, em estudos realizados por GOURLAY (1995), o método não conseguiu produzir imagens que possibilitassem a determinação exata da idade em árvores *Acacia* sp., situação semelhante às copaíbas deste trabalho. Para VETTER e BOTOSSO (1989), esta técnica aplicada às espécies arbóreas na Amazônia brasileira não se mostrou muito satisfatória quando foi comparada à anatomia da madeira e mensuração dendrométrica na delimitação dos anéis de crescimento; e isto se deve ao fato da complexa estrutura anatômicas de espécies com alta densidade, com presença de zonas fibrosas alternadas com parênquimas e vasos, causando oscilações rápidas nas variações da densidade inter-anelar, que muitas vezes não são perceptíveis das variações da densidade no limite do anel.

No entanto, como observado neste trabalho e por ALVARADO et al. (2010), a demarcação dos anéis de crescimento através do perfil radial de densidade apresenta uma maior segurança na precisão quando comparada à imagem da amostra na seção transversa polida e escaneada, podendo ser uma importante ferramenta para determinação dos anéis de crescimento e na identificação dos anéis falsos, ou mesmo auxiliar a demarcação dos anéis para demais fins, como dendrocronologia.

6.3 Curvas de crescimento

Os números de anéis de crescimento variaram entre os indivíduos dentro de cada tratamento e entre os tratamentos. A contagem do número de anéis anuais de crescimento da medula à casca proporciona a estimativa da idade da árvore na altura da amostra coletada (DAP e algumas à altura próxima ao DAP quando havia lenho de reação), o que não necessariamente coincide com a idade total e real da árvore desde o momento de sua germinação (KITZBERGER et al., 2000). No tratamento EIR, o indivíduo mais novo tem 45 anéis e o mais velho com 84. No tratamento convencional, o mais jovem tem 25 anéis, enquanto o mais velho tem 91. Já no tratamento que não houve exploração, 33 e 75 anéis, mais jovem e mais velho, respectivamente.

Neste trabalho, os resultados obtidos a partir destas amostras constituem em aproximação; a existência de um número grande de falsos anéis ou de flutuações intra-

anuais não é descartada totalmente, assim como a possibilidade das idades reais serem mais avançadas, ou até menores que as registradas aqui.

DA CUNHA et al., (2016) relatam que existem poucos modelos que preveem o crescimento de árvores usando variáveis de tamanho de árvores em florestas tropicais, e observaram que as árvores de copaíba podem ter menores taxas de crescimento do que outras espécies da Amazônia.

Ainda que a relação entre produção de óleo de copaíba com o crescimento não componha os objetivos deste trabalho, é interessante destacar os resultados obtidos por BAIMA et al., (1999), que observaram uma relação entre o crescimento em diâmetro de árvores de copaíba da região de Tapajós com a produção de oleorresina. As árvores com DAP<0,60 m não produziam oleorresina, enquanto aquelas com DAP entre 0.60 e 0.93 m produziam oleorresina proporcional ao aumento do diâmetro. Em ROQUETTE et al., (2018), foi constatado que enquanto o número de indivíduos produtivos aumentou de acordo com a faixa etária, a tendência oposta foi observada em relação ao IMA do DAP. Esta afirmação pode estar relacionada ao crescimento de árvores em condições ambientais não favoráveis ao crescimento, como déficit hídrico e ataque de pragas, como situações à fase de senescência dos indivíduos. Assim, pode-se concluir que há evidências de crescimento em diâmetro em árvores de copaíba relacionadas com a produção da oleorresina de copaíba, sendo mais um fator a ser analisado em análises de crescimento do lenho.

Outro fator de crescimento das árvores, já evidenciados por vários autores como SILVA et al., (1995), CARVALHO (1997), ARAÚJO et al., (2001), TAFFAREL et al., (2014), é a correlação entre incidência de luz na copa e o crescimento das árvores.

Das árvores usadas para esta análise de crescimento com informações coletadas em campo, 77,7% das árvores de EIR receberam luminosidade total e parcial, com média de crescimento de 0,29 cm/ano, enquanto as que receberam menos luz 0.15 cm.ano. No tratamento de exploração convencional 50% das árvores analisadas receberam luminosidade total e parcial com média 0.22 cm/ano, enquanto as que receberam menos luz foi de 0.19 cm/ano. Já no tratamento em que não houve exploração, 71,4% das árvores estavam recebendo luminosidade total ou parcial, sendo a média 0.23 cm/ano, e as que receberam menos (28,6%), foi de 0.16 cm/ano.

Mais uma vez em VIDAL et al., (2002), onde foram realizadas pesquisas nos mesmos tratamentos que este trabalho, das 1841 árvores que permaneceram com o mesmo tipo de abertura do dossel durante os anos de estudo, 881 receberam luminosidade total e

cresceram, em média, 0,55 cm/ano; 664 receberam luminosidade parcial e cresceram 0.31 cm.ano; e 296 árvores que receberam apenas luz difusa, cresceram 0.15 cm/ano.

ELIAS (1997) também encontrou resultados para uma espécie do mesmo gênero, *Copaífera multijuga*, onde constatou que as que cresceram em áreas de sub-bosque de floresta primária foram suprimidas e com baixo crescimento, enquanto que, aquelas crescendo em áreas de florestas secundárias, onde o dossel é mais aberto e, consequentemente, a incidência de irradiação solar é maior, apresentaram maior desempenho, ou seja, uma alta taxa de sobrevivência e crescimento. Para espécies de *Cedrela odorata* e *Hymenaea courbaril*, ambas também provenientes do estado do Pará, Brasil, foram encontradas incremento em diâmetro de 0.26 cm/ano e 0.35 cm/ano, respectivamente (SOUSA, 2018).

MEDEIROS (2016) encontrou valores de incremento médio radial para *Copaifera multijuga* em populações naturais e plantadas, sendo a média 0.24 cm/ano e 0.31 cm/ano respectivamente. Já neste trabalho, foi encontrado IMA médio em diâmetro de 0.23 cm/ano para área de EIR; 0.16 cm/ano no tratamento convencional e 0.24 cm/ano na área sem exploração. A diferença de idade entre as árvores dos tratamentos também pode ter contribuído para a diferença desta taxa de crescimento anual.

Ainda foram encontrados valores de incremento corrente anual para a espécie, que junto com o incremento médio (no ponto máximo), forma a curva que seria de corte técnico para as árvores da espécie. Não foi possível, para este trabalho, devido a falta de dados como altura comercial utilizar a metodologia de GOL (Growth-Oriented Logging) de SCHONGART (2008) usado em áreas de manejo florestal onde é estipulado os dados de incremento das árvores para utilizar o volume para cálculos de diâmetro de corte e ciclos de cortes.

As árvores de *C. duckei* no tratamento de EIR tiveram seu ICA máximo aos 78 anos tendo seu incremento 0.30 cm/ano; na exploração convencional o valor foi de 0.24 cm/ano e com 36 anos. Já na parcela sem exploração, a idade máxima foi de 90 anos, com 0.32 cm/ano. Estes valores diferentes, como já explanados até aqui, podem ter vários fatores como a intensidade de exploração em que as árvores dos dois tratamentos foram expostas. Na área de exploração convencional, onde as árvores foram cortadas sem o mínimo de preparo, as remanescentes foram as de diâmetro menor. Na onde ocorreu o manejo, as árvores, no geral, são mais velhas e com maiores diâmetros.

Os resultados de crescimento em diâmetro e curva de crescimento demonstraram que independente das características individuais das espécies, a entrada de luz na copa das árvores estimula um bom crescimento das árvores; uma das técnicas usadas para isto é o desbaste ou liberação de copa (SILVA, 1989).

6.4 Análises dendrocronológicas

6.4.1 Correlação dos anéis de crescimento com variáveis climáticas

As correlações entre os raios de cada árvore (Tabela 9) foram satisfatórias em relação ao grau do COFECHA de 0.328, sendo todas superiores a este valor. O mesmo foi observado para a média da sensibilidade, onde a grande maioria se encontra acima de 0.30, que, como mencionou GRISSINO-MAYER (2001), significa que são séries de medidas sensíveis às variações ambientais.

Com as análises das larguras dos anéis de crescimento foi possível verificar a influência de variáveis climáticas locais, como temperatura e precipitação, já observada por WORBES (1995), LOBÃO (2011), CAHUANA (2017), SOUSA (2018), WORBES e SCHONGART (2019) que têm um efeito decisivo no crescimento das espécies de florestas tropicais. BRIENEN et al., (2016) afirmaram que o crescimento das árvores de florestas tropicais é sensível à chuva e a temperatura, e é reduzida nos anos quentes e secos. Isto se deve ao fato do câmbio, que é o tecido responsável por formar novas células de xilema e floema secundários, ser considerado um sensor dos estímulos ambientais que afetam funções fisiológicas nas plantas, respondendo às variações ambientais e incorporando informações à formação e estruturas dos anéis de crescimento do lenho das árvores (SCHWEINGRUBER 1988; KOZLOWSKI et al., 1991).

Na área em que não houve intervenção de exploração madeireira, a *Copaifera duckei* apresentou correlação positiva nos meses de fevereiro e novembro, que são os meses de altas precipitações na região (sendo novembro o de menor precipitação entre os meses considerados com precipitação alta com média de 68 mm), e negativo nos meses de julho e agosto, meses de baixa precipitação, indicando que a ativação do câmbio ocorreu com a alta quantidade de chuva dessa época. De acordo com WORBES (1999), o crescimento do lenho começa logo após o início da estação chuvosa, e, nas espécies caducifólias, como as de copaíba estudadas por ANDRADE-JUNIOR e FERRAZ (2000), cessa no final da estação chuvosa.

BRIENEN e ZUIDEMA (2005) avaliaram a formação de anéis de crescimento de seis espécies da Amazônia boliviana (*Amburana* sp., *Bertholletia* sp., *Cedrela* sp.,

Cedrelinga sp., *Peltogyne* sp. e *Tachigali* sp.) e puderam observar correlações da largura dos anéis com a precipitação para quatro destas espécies; tendo três apresentado uma forte correlação entre o crescimento e início da estação chuvosa e uma demonstrou ser mais sensível à precipitação no final da estação no crescimento anterior. Com estas análises, os autores puderam concluir que estudos com anéis de crescimento podem ser empregados com êxito nos trópicos, sendo uma metodologia muito promissora para várias linhas de pesquisa.

Porém, houve uma correlação negativa do crescimento com os meses de julho e agosto que têm uma baixa pluviosidade (sendo apenas agosto com 52 mm de média), como observado por SOUSA (2018) para a espécie *Cedrela odorata* proveniente da Flona do Tapajós, também no estado do Pará.

No tratamento em que houve uma exploração de impacto reduzida (manejo) a correlação positiva se deu no mês de novembro, assim como na área sem exploração, e também negativa como nos meses de julho e agosto além dos meses de maio, outubro e dezembro do ano corrente, que são meses com alta pluviosidade, sendo outubro considerado um mês de transição entre as épocas de baixas e altas pluviosidades, e dezembro "marcando a volta" das altas precipitações.

Já na parcela de exploração convencional foi onde houve os maiores números de meses com correlações positivas com a precipitação fugindo do padrão dos dois primeiros tratamentos já mencionados, onde houve correlação positiva com meses correntes em que há de fato uma alta precipitação (porém os meses seguintes, que seriam o do ano posterior, são meses em que a região volta a ter uma maior precipitação). FONTANA et al., (2018) observaram para uma espécie do mesmo gênero, no sudeste do país, a *Copaífera lucens* mostrou uma forte influência das condições climáticas da região no seu crescimento radial durante o final das chuvas.

Ainda sobre o tratamento convencional, houve correlação negativa com a precipitação nos meses de novembro prévio, fevereiro e abril. De acordo com estudos realizados por BOTOSSO et al., (2000) em Manaus, utilizando faixas dendrométricas, foram encontrados crescimentos negativos durante a estação de chuva; redução das taxas de crescimento nos meses de março e maio, final de períodos chuvosos, para espécies: *Calophyllum angulare, Cedrela odorata* e *Eperua bijuga*, que corrobora com os resultados encontrados. Com isso, muitos autores (BOTOSSO et al., 2000; TAIZ e ZEIGER, 2013) têm atribuído estes crescimentos negativos ao acumulo de água no solo, pois não só o déficit

hídrico causa estresse nas plantas, mas o excesso de água também gera efeitos negativos ao seu crescimento (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A quantidade de água armazenada no solo disponível às plantas varia com a textura e as características físicas do solo, o que leva a planta a apresentar diferentes respostas em seus mecanismos de resistência morfofisiológicos (KIEHL, 1979), que pode responder o fato de nos tratamentos tanto no manejo como no convencional existirem correlações negativas com meses de altas pluviosidades, devido, provavelmente, às explorações ocorridas nessas áreas. De acordo com SANTOS e CARLESSO (1998), a capacidade de a planta armazenar água é determinada pela diferença de conteúdo volumétrico de água entre o limite superior e inferior de disponibilidade, sendo este limite definido como o valor de conteúdo da água do solo depois que as plantas, já desenvolvidas normalmente, estejam completamente senescentes com consequente extração de toda a água disponível no perfil do solo. Desta forma, a água do solo disponível às plantas é definida para uma combinação particular solo-cultura; com as características físicas, químicas e biológicas do solo tendo influência direta na quantidade de água no solo disponível às plantas, ou seja, qualquer alteração ou restrição nessas capacidades que altere o desenvolvimento do sistema radicular, a disponibilidade será afetada porque essa água armazenada não pode ser extraída pelas plantas. Outro acontecimento que pode ter relação com a precipitação é o início da queda das folhas e a dormência cambial (SOUSA, 2018; VETTER, 2000).

6.4.1 Situação 1: Antes da exploração madeireira (1960-1992)

Embora nenhum dos tratamentos neste período tenha sofrido a exploração madeireira, foi analisada a situação de cada um separadamente para comparação, uma vez que, apesar de serem da mesma espécie, estarem em localidades próximas e sofrerem as mesmas interferências climáticas, cada árvore tem sua peculiaridade biológica. Segundo BRIENEN et al., (2010) a competição por nutrientes e por oxigênio durante os períodos que ocorre saturação do solo pelo excesso de água precipitada (estação chuvosa), além da competição por luz, principalmente nos estágios iniciais de crescimento da árvore, são fatores que podem influenciar o crescimento das plantas. E ainda existem as clareiras naturais comuns às florestas tropicais que são de grande importância para sua renovação florística, pois assim há uma diferença de radiação que chega às plantas e solo (JARDIM et al., 2007).

Os resultados obtidos para *C. duckei* neste trabalho, referentes ao período de tempo sem exploração, mostram correlação positiva com a precipitação em meses de período chuvoso na região (WORBES, 1999; BRIENEN e ZUIDEMA, 2005) e uma parcela correlacionou também positivamente com dois meses de baixa precipitação provavelmente em decorrência de água armazenada no solo dos períodos de chuva. Diante disso, pode-se dizer que a precipitação age como fator determinante no crescimento em diâmetro das árvores de copaíba, representada pela variação da largura dos anéis em função do aumento da atividade do câmbio. Com relação à temperatura, houve correlação negativa nos meses de fevereiro, outubro e novembro.

6.4.2 Situação 2: Após exploração madeireira (1993-2017)

Os resultados de precipitação nos três tratamentos estudados foram bem distintos: a área sem exploração seguiu apresentando valores positivos com meses de alta precipitação. A parcela de EIR não apresentou correlação positiva neste período, apenas negativa em meses de alta precipitação (BOTOSSO et al., 2000; TAIZ e ZEIGER, 2013). Porém esse resultado pode ser atribuído devido ao acúmulo de água no solo.

Já a área de exploração convencional (assim como observado no período completo de tempo) apresentou correlação positiva com meses de baixa precipitação; situação já mencionada em FONTANA et al., (2018), que mostrou uma forte influência das condições climáticas da região no seu crescimento radial durante o final das chuvas.

Além dos fatores que podem interferir no crescimento das árvores já citados anteriormente, nas áreas que sofrem algum tipo de exploração, a abertura de clareiras foi maior que na área que não houve exploração. De acordo com VIDAL et al., (2002), perturbações nas áreas de florestas causadas por colheita de madeira sem manejo adequado, provoca danos e alterações biofísicas, e como resultado diminui o crescimento das árvores. Assim, a temperatura acaba sendo um fator de influência no crescimento das árvores.

Após as explorações, as árvores remanescentes sofreram uma maior incidência de luz solar devido à abertura de clareiras ao seu redor e/ou até mesmo distantes, dependendo da distribuição espacial das árvores das mesmas. Como já visto, houve um aumento em diâmetro das árvores nos tratamentos de exploração, o que leva a acreditar que este foi um fator importante para isso.

Enquanto na parcela sem exploração só houve um mês com correlação positiva com temperatura, nos tratamentos com exploração o número de meses com boas correlações

foram os maiores comparando as duas análises até aqui. No tratamento de EIR houve correlação positiva com os meses prévios de altas temperaturas e janeiro e fevereiro do ano seguinte. No tratamento convencional quase todos os meses do ano corrente (salvo novembro e dezembro) tiverem correlação positiva, além dos meses do ano posterior. Isso provavelmente se deve ao aumento da irradiância solar permitir maior produção de fotoassimilados que auxilia no crescimento das plantas (CAMPOS, 1970; BERTHOLDI, 2013; TAIZ e ZEIGER, 2013; MEDEIROS, 2016).

Apesar de correlações positivas com temperatura serem incomuns em espécies de florestas tropicais, recentemente SOUSA (2018) encontrou esta correlação em *Cedrela odorata* no estado do Pará e MEDEIROS (2016) em *Copaíba multijuga*, também na Amazônia. BARICHIVICH et al., (2008) apresentam uma análise detalhada das respostas climáticas e influência do ENSO (*El Niño/La Niña- Southern Oscillation*) e PDO (*Pacific Decadal Oscilation*) nos anéis de crescimento de três espécies das regiões sub-tropical árida e semiárida do deserto do Atacama ao norte do Chile onde encontraram correlações positivas com a temperatura durante a maior parte da estação das chuvas, assim como ENQUIST e LEFFLER (2001) estudando taxa de crescimento em floresta tropical na Costa Rica em *Capparis indica* e *Genipa americana*, também observaram sensibilidade das duas espécies com a temperatura.

Lobão (2011) observando *Cedrela fissilis* e *Cedrela odorata* no Acre, estudando a correlação do crescimento das árvores com evotranspiração, constatou que num período normalmente de déficit hídrico no solo, portanto maior temperatura promove maior evapotranspiração contribuindo negativamente para o crescimento dessas árvores.

7. CONCLUSÕES

As árvores de *Copaífera duckei* ocorrentes nas áreas de Paragominas analisadas neste estudo apresentaram um elevado potencial dendrocronológico devido às correlações significativas de largura dos anéis de crescimento e sensibilidade do câmbio vascular aos fatores ambientais.

A idade estimada das árvores utilizadas variaram de 46 a 84 anos, 25 a 91 anos e 33 a 75 anos nos tratamentos de impacto reduzido, convencional e sem exploração.

O incremento médio anual das árvores de copaíba foi de 0.26 cm, 0.20 cm e 0.27 cm nos tratamentos de impacto reduzido, convencional e sem exploração.

A maior incidência de luz na copa das árvores, resultado da exposição direta aos raios solares favoreceu, também, o crescimento do tronco das árvores, sendo maior na área de exploração de impacto reduzido.

As árvores *Copaífera duckei* com o desenvolvimento de espécies de lianas em sua copa evidenciaram menor crescimento do tronco em relação às árvores sem lianas, ou em menor quantidade.

Houve diferença significativa do valore da mensuração do DAP do tronco das árvores no inventário em comparação com a mensuração da largura dos anéis de crescimento.

As árvores de *Copaífera duckei* apresentaram maior média de densidade aparente na área de tratamento de manejo florestal (exploração de impacto reduzido) e maior incremento em diâmetro do tronco.

A precipitação evidenciou efeito no crescimento em diâmetro do tronco das árvores, porém, este efeito não é predominante por todo o período de avaliação.

Os tratamentos silviculturais que implicaram no corte e exploração madeireira mostraram correlação positiva com temperatura, devido, provavelmente, à abertura de clareiras.

Com a descrição anatômica dos anéis foi possível observar a presença de parênquima predominantemente axial paratraqueal vasicêntrico com canais secretores no limite dos anéis de crescimento.

Os resultados corroboram os da literatura que indicam a formação de anéis de crescimento anuais no lenho de árvores de espécies tropicais e que demonstram sua importância como ferramenta na avaliação do manejo sustentável das florestas naturais.

8. CONSIDERAÇÕES

Como sugestão para futuras pesquisas complementares às do presente estudo recomenda-se a (i) extração de amostras do lenho do tronco das árvores com sondas metálicas motorizadas de maior comprimento e diâmetro, propiciando a obtenção de melhor corte histológico e a avaliação da estrutura anatômica microscópica do lenho, incluindo os canais de oleorresina; (ii) utilizar seções transversais do lenho do tronco das árvores, obtidas pelo método destrutivo, a partir da aplicação de novos desbastes nas áreas experimentais.; (iii) necessidade da obtenção da altura comercial do tronco das árvores, além do seu diâmetro, para determinar o seu ciclo de corte; (iv) o diâmetro mínimo do tronco é considerado como o principal fator para a aplicação do manejo florestal na legislação vigente, mas que deve incluir as peculiaridades do crescimento, propiciadas pela análise dos anéis de crescimento; (v) as análises dendrocronológicas e dendroclimatológicas aplicadas em árvores de espécies tropicais devem incluir maior número de variáveis ambientais, possibilitando, desta forma, o aprimoramento e melhor entendimento da sua influencia no crescimento e desenvolvimento do tronco das árvores, submetidas aos tratamentos de manejo silvicultural das florestas tropicais; (vi) avaliar a aplicação da coleta do óleo resina da copaíba no manejo de produtos florestais não madeireiros.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, M.D.; COPENHEAVER, C.A. Temporal variation in species recruitment and dendroecology of an old growth white oak forest in the Virginia Piedmont, USA. **Forest Ecology and Management**. v. 124, 1999, p. 275-284,

ALVARADO, J.R. **Dendrocronologia de árvores de mogno *Swietenia macrophylla* king., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009, 129p.

ALVARADO, J.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; POLLITO, A.Z.; LOBÃO, M.S. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n 86, 2010, 171-179 p.

ALVES, E. S. & ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. II: axial parenchyma, rays and fibres. **IAWA Journal**, 2002, 391-418 p.

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

ANDRADE-JUNIOR, M.A; FERRAZ, I.D.K, Eventos fenologicos de copaiba (copaifera officinalis l. - caesalpiniaceae) em mata de galeria do rio branco, boa vista/Roraima, Brasil: uma primeira aproximação. **ACTA Amazônia**, 2000

ANGELO, H; SILVA, J. C. D; ALMEIDA, A. N. D; POMPERMAYER, R. D. S. Análise estratégica do Manejo Florestal na Amazônia Brasileira. **Floresta**, v. 44, p. 341- 348, 2014.

APEZZATO-DA-GLORIA, B; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**, (livro), 2º ed atual, Ed UFV, 2006, 438 p.

ARAÚJO, R. A. **Florística e estrutura da comunidade arbórea em fragmento florestal urbano no município de Sinop, Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2008

ARAUJO, P.C.R; MELO, L.O; SILVA, U.S.C; CARDOSO, C.C; SOUSA, L.K.V. **Impacto da exploração florestal na estrutura e dinâmica de uma área submetida a manejo florestal na floresta nacional do Tapajós, Pará**, I Seminário de Pesquisas Científicas da Floresta Nacional do Tapajós, 2011

AYRES, J.M; FONSECA, G.A.B; RYLANDS, A.B; QUEIROZ, H.L; PINTO, L.P; MASTERSON, D; CAVALCANTI, R.B. **Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil**, Sociedade Cicil Mamirauá, 2005, 256 p.

AZEVEDO, V. C. R; KANASHIRO, M; CIAMPI, A. Y; GRATTAPAGLIA, D. Genetic structure and mating system of *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev., a heavily logged Amazonian timber species. **Journal of Heredity**, Washington, v. 98, n. 7, 2007, 646–654 p.

BAIMA, A. M. V; SANTOS, L. S; NUNES, D. S; CARVALHO, J. O. P. **Produção de óleo de copaíba na região do Tapajós**. EMBRAPA-CPATU, Belém, Pará, Comunicado Técnico, 103, 1999, 3p

BARICHIVICH, J; SAUCHYN, D. J; LARA, A. Climate signals in high elevation tree-rings from the semiarid Andes of north-central Chile: responses to regional and large-scale variability. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 281, n. 3-4, 2008, 320-333 p.

BERTHOLDI, A.A. da S. **Efeito da sazonalidade nos parâmetros ecofisiológicos de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae-Caesalpinioideae) em floresta estacioanl semidecídua** TCC (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2013, 22p.

BEZERRA, J; FUNARI, P.P; KUYPER, T.W. Solos Amazônicos — suas representações e seus contextos históricos: **Representations of Amazonians soils — the three views and their historical context**, Disponível em: < https://www.ifch.unicamp.br/eha/chaa/rhaa/downloads/Revista%2023%20-%20artigo%202.pdf> Acesso em 8 fevereiro 2020

BOTOSSO, P.C; VETTER, R.E; TOMAZELLO FILHO, M. Periodicidade e taxa de crescimento de árvores de cedro (*Cedrella odorata* L., Meliaceae), Jacarareúba (*Calophyllum angulare* A. C. Smith, Clusiaceae) e muirapiranga (*Eperua bijuga* Mart. ex Benth, Leg. Caesalpinoideae) de floresta de terra firme, Manaus – Am. In: ROIG, F.A. **Dendrocronología em América Latina.** Mendonza, Ediunc, 2000, 357-380 p.

BOTOSSO, P. C; MATTOS, P.P. Conhecer a Idade das Árvores: **Importância e Aplicação**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002, 25 p.

BOUVET, J.M; BOUILLET, J.P; VIGNERON, P; OGNOUABI, N. Genetic and environmental effects on growth and wood basic density with two *Eucalyptus* hybrids. In: Conectering between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software, **Proceedings**… Johanesburgo, 1999, 5-12 p.

BRAZ, E. M; SCHNEIDER, P.R; MATTOS, P.P; SELLE, G. L; THAINES, F; RIBAS, L. A; VUADEN, E. Taxa de corte sustentável para manejo das florestas tropicais. **Ciência Florestal**, v. 3, 2012, p. 137–145

BRENA, D.A. Proposição de um sistema de inventário florestal nacional para o Brasil, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, 1996, 109-127 p.

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

BRIENEN, 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, 2006, 256–267 p.

BRIENEN, R.J.W; ZUIDEMA, P.A; MARTÍNEZ-RAMOS, M. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. **Oecologia**, Berlim, v. 163, n. 2, 2010, 485 – 496 p.

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, 2016, 439-461 p.

BURGER, L.M; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

CAHUANA, L.A.P, **Potencial Dendrocronológico de Árvores da Família Fabaceae na Floresta Tropical Amazônica do Peru**, Dissertação (Mestrado em Ciências agrárias), UFRRJ, Seropédica, 2017

CAMPOS, J.C.C; LEITE, H.G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009, 548 p.

CAMPOS, J.C.C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 2, n. 3, 1970, 45-52 p.

CARVALHO, J.O.P. **Structure and dynamics of a logged over Brazilian Amazonian rain forest**. Oxford, Tese (Doutorado). Oxford University, 1992.

CARVALHO, J.O.P. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL, Curitiba. **Anais...** Colombo: Embrapa/CNPF, (Documentos, n. 34), 1997, 43-55 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: EMBRAPA, v. 1. 2003

CHAGAS, M.P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grivillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. E *Terminalia catappa* L. nos município de Piracicaba e Paulinia, SP**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009, 114 p.

CHRISTIANO, A.B. **Estudos dendrológicos em *Copaifera langsdorffii***. Piracicaba: LAIM, ESALQ, Depto. Ciências Florestais, (Relatório Técnico CNPq, projeto: Estudos dendrocronológicos e dos ciclos de corte em espécies arbóreas da floresta Amazônica). 2010, 24 p.

COOK, E.R; HOLMES, R.L. Users manual for program ARSTAN. Palisades: **Lamont-Doherty Earth Observatory**, 1984. 28 p.

CORREIA, F.W.S; MANZI, A.O; CÂNDITO, L.A.; SANTOS, R.M.N; PAULIQUEVIS. T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal, **Cienc. Cult**. vol.59, no.3, São Paulo, 2007

COSTA, J.A.S; QUEIROZ, L.P. ***Copaifera sabulicola* (Leguminosae), uma nova espécie do cerrado brasileiro**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 2, 2007, 393-396 p.

COSTA, D. H. M.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. Crescimento de árvores de uma área de terra firma na Floresta Nacional do tapajós após a colheita de madeira. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 50, 2008, 63-76 p.

COURALET, C; SASS-KLAASSEN; U; STERCK; F; BEKELE, T; ZUIDEMA, P. A. Combining dendrochronology and matrix modeling in demographic studies: an evaluation for *Juniperus procera* in Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v. 216, 2005, p. 317-339

COUTO, H.T.Z; BATISTA, J.L.F; RODRIGUES, L.C.E. **Mensuração e gerenciamento de pequenas florestas**, ESALQ/USP, Departamento de Ciências Florestais, Documentos Florestais, Piracicaba, 1989.

CUNHA, U.S; MACHADO, S.A; FIGUEIREDO FILHO, A; HOSOKAWA, R.T, Método para determinar o diâmetro máximo de corte em florestas tropicais utilizando-se o gráfico "UPLOT-DAP", **ACTA AMAZONICA**, 2002

DA CUNHA, T.A; FINGER, C.A.G; HASENAUER, H. Tree basal area increment models for Cedrela , Amburana , Copaifera and Swietenia growing in the Amazon rain forests. **Forest Ecology and Management,** v. 365, 2016, 174–183 p.

DAWKINS, H.C; FIELD, D.R.B. A long-term surveillance system for British woodland vegetation. **Oxford Forestry Institute**, Oxford, 1978, 106p.

DOYLE, J.J; CHAPPILL, J.A; BAILEY, C.D; KAJITA, T. Towards a comprehensive phylogeny of legumes: evidence from rbc l sequences and non-molecular data. **Advances in Legume Systematics**, Key, v. 9, 2000, p. 1-20

DWYER, J.D. The Central American, West Indian, and South American species of *Copaifera* (Caesalpiniaceae). **Brittonia**, New York, v. 7, n. 3, 1951, 143-172 p.

ELIAS, M.E. DE A. **Estabelecimento de plântulas de Capaifera multijuga Hayne (Caesalpiniaceae) em fragmentos florestais e estádios de sucessão.**. Dissertação (Mestrado em Biologia- Botânica) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1997, 83 p.

ENGEL, V.L; FONSECA, R.C.B; OLIVEIRA, R.E. **Ecologia de lianas e o manejo de fragmentos florestais**, série técnica IPEF, v. 12, n. 32, 199,8 p. 43-64,

ENQUIST, B. J; LEFFLER, A. J. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: individualistic responses to climatic variation. **Journal of Tropical Ecology**, v. 17, 2001, 41-60 p.

FAO, FRA 2012 – Terms and definations, Foret resources assessment working papaer 180, Roma, 2012

FEDALTO, L.C; MENDES, I. da C.A; CORADIN, V.T.R. Madeiras da Amazônia**, Descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na floresta nacional de Tapajós**. Brasília, IBAMA, 1989

FERREIRA, A.T.B. **Avaliação da estrutura anatômica e da densidade aparente do lenho e do carvão de árvores de *Eucalyptus* sp. e de *Corimbia* sp.**. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013, 131 p.

FINEGAN, B.; CAMACHO, M.; ZAMORA, N. Diameter increment patterns among 106 tree species in a logged and silviculturally treated Costa Rican rain forest. **Forest Ecology and Management**, v.121, 1999, 159-176 p.

FIGUEIREDO FILHO, A; RETSLAFF, F.S; RETSLAFF, F.S; sob plantio de ALONGHI-SANTOS, T; STEPKA, T., Crescimento e Idade de espécies nativas regenerantes sob plantio de Araucaria angustifólia no Paraná, **Floresta e Ambiente**, 2017

FINGER, C.A.G. **Fundamentos da biometria florestal**, 1ed. Santa Maria, UFSM/FATEC/CEPEF, 1992, 262 p.

FRITTS, H. C. Tree rings and climate. London: Academic Press, 1976, 567 p.

FONTANA, C; PÉREZ-DE-LIS, G; NABAIS,C; LOUSADA, J.L.P.C; OLMEDO, G.M; BOTOSSO, P.C; OLIVEIRA, J.M, Climatic signal in growth-rings of Copaifera lucens: An endemic species of a Brazilian Atlantic forest hotspot, southeastern Brazil, **Dendrocronologia**, 2018

GONZÁLES, A.D.V, **Dendrocronologia de árvores de Tectona grandis L., e Pinus caribea var. hondurensis Barr. Et Golf de plantação da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP**, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013

GAMA, J. R.V; BENTES-GAMA, M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Manejo sustentado para Floresta de Várzea na Amazônia Oriental. **Árvore** , v. 29, n. 5, p. 719-729, 2005

GOTELLI, N.J; ELLISON, A.M. Princípios de estatística em ecologia, **Artmed**, Porto Alegre, 2011, 528 p

GOURLAY, I.D. The definition of seasonal growth zones in some African Acacia species – A review. **IAWA Journal**, Leiden, v.16, 1995, 353 – 359 p.

GRAÇA MARTINS, E. **Coeficiente de correlação amostral**, Revista de Ciência Elementar, vol 2, n 2, 2014

GRISSINO-MAYER, H.D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program cofecha. **Tree-ring Research**, Vol. 57 (2), 2001, 205-221 p.

GROENENDIJK, P; BORGES, F; ZUIDEMA, P. A, Using tree-ring data to improve timber-yield projections for African wet tropical forest tree species, **Forest Ecology and Management**, 2017

HAYGREEN, J; BOWYER J, Forest products and world science: an introduction. Ames: **The Iowa State University Press**, 1982. 496 p.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; FREITAS, J.V.; VIEIRA, G.; COIC, A.; MINETTE, L.J. **Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente**. In: HIGUCHI, N.; FERRAZ, J.B.S.; ANTONY, L.; LUIZÃO, F.; LUIZÃO, R.; BIOT, Y.; HUNTER,I.; PROCTOR, J.; ROSS, S., ed. Biomassa e nutrientes florestais: relatório final. Manaus: INPA / DFID, 1997, p.88-132

HOLL, K.D. Restoring Tropical Forest, **Nature Education Knowledge**, 2013

HOLMES, R.L; ADAMS, R. K; FRITTS, H.C. Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. In: **Tree-ring chronologies of western North America:** California, eastern Oregon and northern Great Basin. Tucson: University of Arizona, 1986, 41-49 p.

HOLMES, T.P; BLATE, G.M; ZWEEDE, J.C; PEREIRA JUNIOR., R.; BARRETO, P; BOLTZ, F. **Custos e benefícios financeiros da exploração de impacto reduzido em comparação à exploração convencional na Amazônia Oriental**. Fundação Floresta Tropical/ Instituto Floresta Tropical. Belém: IFT, 2002

IAWA COMMITTEE. **IAWA list of microscopic features for hardwood identification**. IAWA Bulletin, Leiden, v. 10, n. 3, 1989, 219-332 p.

IFT - INSTITUTO DE FLORESTAS TROPICAIS, **Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção na Amazônia**, Informativo técnico 1, 2014.

IMAZON, **Diagnóstico socioeconômico e florestal do município de Paragominas**, 2009, Belém, PA

IMAZON, Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/a-amazonia-em-numeros/>

Acesso em 15 jan 2020

INPA - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS NA AMAZÔNIA. Disponível em < https://www.inpa.gov.br/arquivos/Apostila_Manejo.pdf > Acesso em 27 set 2018

INZUNZA, O.N.Y. **Anatomia da madeira de nove espécies do gênero copaífera (Leguminosae-Caesalpinioideae)** Dissertação (Mestrado Engenharia florestal), UFPR, Curitiba, 1992

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, **Divisão de madeiras**. Fichas características das madeiras, São Paulo, 1978.

JACOBY, G. C. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. **IAWA bulletin new series**, v. 10, 1989, 99- 108 p.

JARDIM, F.C.S; SERRÃO, D.R; NEMER, T.C. Efeito de diferentes tamanhos de clareiras, sobre o crescimento e a mortalidade espécies arbóreas, em Moju-PA. **Acta Amazonica**, Manaus, v.37, n.1, 2007, 37-48 p.

JENKINS, H. S; BAKER, P. A.; NEGRÓN-JUÁREZ, R. I. Eventos extremos de seca na Amazônia revelados pelos registros de anéis de árvores. **In: BORBA, L. S.; NOBRE, C. A. Secas na Amazônia: causas e consequências**. São Paulo: Oficina de textos, 2013., 29-46 p.

JOHNS, J; BARRETO, P; UHL, C. Logging damage in planned and unplanned logging operations and its implications for sustainable timber production in eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, 1996.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia.** São Paulo: Ceres, 1979, 191-215 p.

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

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

LACERDA, A. E. B; KANASHIRO, M; SEBBENN, A. M. Effects of reduced impact logging on genetic diversity and spatial genetic structure of a *Hymenaea courbaril* population in the Brazilian Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3-4, 2008, 1034-1043 p.

LENTINI, M.; PEREIRA, D; CELENTANO, D; PEREIRA, R. **Fatos Florestais da Amazônia**. Belém- PA, 140 p., 2005.

LEWIS, G.P; SCHRIRE, B; MACKINDER, B; LOCK, M. Legumes of the world. Richmond: **Royal Botanic Gardens,** Kew, 2005, 369p.

LOBÃO, M.S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell. e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no estado do Acre, Brasil,** Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011

LOPEZ, L; VILLALBA, R. An assessment of Schinopsis brasiliensis Engler (Anacardiacea) for dendroclimatological applications in the tropical Cerrado and Chaco forests, Bolivia. Dendrochronologia, v. 40, 2016, 85–92 p.

LOUREIRO, A.A; SILVA, M.F; ALENCAR, J.C. **Essências Madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA; CNPq, v. 1, 1979, 125p.

MARCATI, C; ANGYALOSSY-ALFONSO, V; BENEDETI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* de floresta e cerradão. **Revista Brasileira de Botânica**, 2001

MARTINS-DA-SILVA, R.C.V. **Taxonomia das espécies de Copaifera L. (Leguminosae-Caesalpinioideae) ocorrentes na Amazônia brasileira**. Tese (Doutorado em Ciências biológicas), Museu Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006, 258p.

MARTINS-DA-SILVA, R. C. V; PEREIRA, J. F; LIMA, H.C, **O gênero *copaifera* (leguminosae – caesalpinioideae) na Amazônia brasileira**, Acesso livre à informação científica da EMBRAPA – ALICE, 2007.

MEDEIROS, R.S. **Estudo da anatomia do lenho e dendrocronologia de árvores de *Copaifera multijuga* Hayne na Amazônia brasileira e sua relação com o manejo e extração de oleorresina**, Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, Piracicaba, 2016

MATTOS, P. P; BRAZ, E. M; HESS, A. F; SALIS, S. M, **A dendrocronologia e o manejo sustentável em florestas tropicais**, Documentos, EMBRAPA Florestas, Colombo, PR, 2001

MELO JUNIOR, J.C.F; CECCANTINI, G; BONA, C. Anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae) distribuída em diferentes condições edáficas do cerrado sul-brasileiro, **IHERINGIA**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 66, n.2, p. 189-200, Dez. 2011.

MENDONÇA, A. C. A. **Caracterização e simulação dos processos dinâmicos de uma área de floresta tropical de terra firme utilizando matrizes de transição**. Universidade Federal do Paraná. Dissertação de (mestrado em Ciências florestais), 2003, 76 p.

METCALFE, C. R; CHALK, L. **Anatomy of the Dicotyledons: Leaves, Stem and Wood in Relation to Taxonomy with Notes on Economic Uses.** Vol. I, Oxford: Clarendon Press, 1950

METCALF, C. R; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons. Wood structure and conclusion of the general introduction.** Oxford University Press, Oxford. 1989, 297 p.

MIRANDA, B.P; ANDRADE, V.H.F; BOTOSSO, P.C; SANTOS, T.L; MILANI, J.E.F; RODERJAN, C.V, Potencial de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae) como indicadora de mudanças climáticas por meio da análise dos anéis de crescimento, Paraná, Brasil, **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2019

MORAIS E SILVA, V. S de, Manejo de florestas nativas: **planejamento, implantação e monitoramento**, UFMT, Cuiabá, 2006

MUNARETO, F. F. **Dendroclimatologia de quatro espécies florestais nativas com potencial silvicultural e econômico,** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, RS, 2007

NUGROHO, W.D.; MARSOEM, S.N.; YASUE, K.; FUGIWARA, T.;NAKAJIMA, T.; HAYAKAWA, M.; NAKABA, S.; YAMAGISHI, Y.; JIN, H.-O.; KUBO, T.; FUNADA, R. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five different provenances in Indonesia. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 58, n. 3, 2012, 185-194 p.

OLIVEIRA J. M. Anéis de crescimento de *Araucária angustifólia* (Bertol.) O. Kuntze: **bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. Tese (Doutorado em Ecologia), UFRS - Brasil. 2007

PEREIRA, M.G; CARVALHO, D.C de; LATORRACA, J.V.F, COSTA, J.H; SILVA L.D.S.B; CARMO, J.F. Dendrochronology and growth of Copaifera langsdorffii wood in the vegetative dynamics of the Pirapitinga Ecological Station, State of Minas Gerais, Brazil. **Floresta**. 2018

PINARD, M. A; PUTZ, F. E; RUMÍZ, D; JARDIM, A. Ecological characterization of tree species for guiding Forest management decisions in seasonally dry Forest in Lomerío, Bolivia. **Forest Ecology and Management**, 1999, 201-213 p.

PINTO, A; AMARAL, P; SOUZA JUNIOR, C; VERÍSSIMO, A; SALOMÃO, R; GOMES, G; BALIEIRO, C. **Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do município de Paragominas**. Belém: Imazon, 2009, 65 p.

PIRES-O'BRIEN, M.J; O' BRIEN, C.M. **Ecologia e modelamento em florestas tropicais**. Belém,1995, 400 p.

POOTER, L; BANGERS, F. **Ecology of tropical forests**. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1993, 223p.

PUTZ, F.E; D. DYKSTRA; R. HEINRICH. Why poor logging practices persist in the tropics, **Conservation Biology**, vol 4, nº4, 2000

RICHTER, H.G; DALLWITZ, M.J. **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**. In English, French, German, Portuguese, and Spanish, 2000,

RIBEIRO, J.E.L.S; HOPKINS, M.J.G; VICENTINI, A; SOTHERS, C.A; COSTA, M.A.S; BRITO, J.M; SOUZA, M.A.D; MARTINS, L.H.P; LOHMANN, L.G; ASSUNCÃO, P.A.C.L; PEREIRA, E.C; SILVA, C.F; MESQUITA, M.R; PROCOPIO, L.C. **Flora da Reserva Ducke. Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**, INPA, DFID, Manaus, 1999.

RIZZINI , C.T. Árvores e madeiras úteis do Brasil: **Manual de dendrologia brasileira** . 2 ed .São Paulo : E .Blueher, 1978, 52 p.

ROQUE, R.M; TOMAZELLO, M. **Avaliação da densidade da madeira de árvores de Gmelina arborea pela aplicação da densitometria de raios x,** International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2005

ROQUETTE, J.G; DRESCHER, R; BRONDANI, G.E; RONDON NETO, R. M; EBERT, A; TEIXEIRA, L. R; DIAS, A. P.; GAVA, F. H. Age and growth affect oleoresin yield from copaiba trees in the cerrado–amazonia ecotone. **CERNE,** v. 24, n. 2, 2018, 106-113 p.

SANTOS, R.F; CARLESSO. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, n.3, 1998, 287-294 p.

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

SCHÖNGART, J. Growth–Orientated Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, 2008

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 forets defined by tree-ring analysis. **Ann. For. Sci.**, 64, 2007, 657-664 p.

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

SCHWEINGRUBER, F.H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology, **D. Reidel Publishing Company**, Dordrecht, 1988.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. UFLA/FAEPE ed. Lavras, 438 p., 1998

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO; IMAZON. A atividade madeireira na Amazônia brasileira : **produção, receita e mercados**. Belém-PA, 2010, 32 p.

SILVEIRA, F.A.O, **Anatomia Vegetal**, Departamento de Ciências Biológicas, Curvelo, 2004

SILVA, J.N.M; LOPES, J.C.A. **Inventário florestal contínuo em florestas tropicais: a metodologia utilizada pela EMBRAPA-CPATU na amazônia brasileira**, EMBRAPA-CPATU, Documentos 33, Belém, 1984

SUDAM, Disponível em: <http://www.sudam.gov.br/index.php/institucional/58-acesso-a-informacao/86-legislacao-da-amazonia> Acesso em 15 jan 2020

SILVA, J. N. M; CARVALHO, J. O. P; LOPES, J. C. A; ALMEIDA, B. F; COSTA, D. H. M; OLIVEIRA, L. C; VANCLAY, J. K; SKOVSGAARD, J. P. Growth and yield of a tropical rain forest in the brazilian Amazon 13 years after logging. **Forest Ecology and management**, Amsterdam, v. 71, n. 3, 1995, 267-274 p.

SILVA, J.N.M. The behavior of the tropical rain forest of the Brazilian amazon after logging. Oxford, 1989. Tese (Doutorado). Oxford University

SILVA, M. B; KANASHIRO, M.; CIAMPI, A. Y; THOMPSON, I; SEBBENN, A. M. Genetic effects of selective logging and pollen gene flow in a low-density population of the dioecious tropical tree *Bagassa guianensis* in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 5-6, 2008, 1548-1558 p.

SNIF – Serviço de Informações Florestais, **Conhecendo sobre florestas**, 2016.

SOLEREDER, H. **Systematic Anatomy of the Dicotyledons**. Vol. II. Oxford: Clarendon Press, 1908.

SOUZA, P. F. Terminologia florestal: **glossário de termos e expressões florestais**. Guanabara: Fundação IBGE, 1973, 304p.

SOUZA, V. C; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil**, **baseado em APG II**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

SOUSA, L.K.V.S, **Dendrocronologia aplicada no manejo de árvores de cedro (Cedrela odorata) L. e Jatobá (Hymenaea courbaril) L. ocorrentes na FLONA do Tapajós, PA,** Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, Piracicaba, 2018

SOUZA, V.R; CARPIM, M.A; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posição em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v.3, 1986, 63-72 p.

STOKES, M. A; SMILEY, T. L. **An introduction to tree-ring dating, University of Arizona Press**, Chicago, 1968

SURDI, P.G; BORTOLETTO JÚNIOR, G; CASTRO, V.R; ALMEIDA, N.F; MENDES, R.F.; CHAIX, G; TOMAZELLO FILHO, M. Perfil de densidade do lenho utilizando métodos radiográficos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, 2014, 229-236 p.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY. A., **Fisiologia e Desenvolvimento vegetal**, (livro), 6º Ed, Ed. Artmed, Porto Alegre, RS, 2017

TAFFAREL, M; GOMES, J. M; CARVALHO, J. O. P; MELO, L; FERREIRA, J. E. R. Efeito da silvicultura pós-colheita na população de Chrysophyllum lucentifolium Cronquist (Goiabão) em uma floresta de terra firme na Amazônia Brasileira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 6, 2014, 1045-1054 p.

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

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n.29, 1985, 37-45 p.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla*** , Tese (Livre Docência em Ciência e Tecnologia de Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006, 146 P.

TOMAZELLO FILHO, M; BRAZOLIN, S; CHAGAS, M.P; OLIVEIRA, J.T.S; BALLARIM, A.W; BENJAMIN, C.A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of *Eucalypt* Wood. **Maderas**: Ciência y Tecnologia, v.10, n.2, 2008, 139-149 p

UFCC, The Marrakesh accords & the Marrakesh declaration, Marrakesh, 2001

VALE, A.T; MOURA, V.P.G; MARTINS, I.S; RESENDE, D.C.A. Densidade basica medis em função da profundidade de penetração do pino do "pilodyin" e da classe dimaetrica e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.19, n.1, 1995, 80-91 p.

VEIGA JUNIOR, V. F. & PINTO, A. C, **O gênero *Copaifera* L**. Química Nova, 2002.

VETTER, R.E.; BOTOSSO, P.C. Remarks on age and growth rate determination of Amazonian trees. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.2, 1989, 133-145 p.

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. Mendonza: EDIUNC, 2000, 434p.

VIANA, L.C. **Uso do infravermelho próximo para predição de propriedades tecnológicas da madeira de Eucalyptus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008, 120 p

VIANA, A. C. N; JARDIM, F. C. S. **Dinâmica da população de Simaruba amara Aubl. (MARUPÁ) em clareiras da floresta tropical explorada seletivamente, em Moju PARÁ.** VI Seminário de Iniciação Cientifica da UFRA e XII Seminário de In da EMBRAPA Amazônia Oriental, 2008

VIDAL, E.; VIANA, V.M.; BATISTA, J.L.F. Crescimento de Floresta Tropical Três Anos Após Colheita de Madeira Com e Sem Manejo Florestal na Amazônia Oriental. **Scientia Forestalis**, 61, 2002, 133-143 p.

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**, v. 376, 2016, 1-8 p.

VIGNERON, P; GERARD, J; BOUVET, J.M. Relationship between basic density and growth in a fertilization trial with clones of *Eucalyptus* hybris in Congo. In: EUCALYPT PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YIELD AND QUALITY, 1995, Hobart. **Proceedings**... Sand Bay: CRCTHF/IUFRO,. v.1, 1995, 68-72 p.

WALPOLE, R. E; MYERS, R.H; MYERS, S. L; YE, K. **Probabilidade e Estatística para engenharia e ciências.** [Tradução Vianna, L. F. P.]. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
WATRIN, O.S; ROCHA, A.M.A. **Levantamento de vegetação natural e uso da terra no Município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/Landsat**. EMBRAPA-CPATU (EMBRAPACPATU. Boletim de Pesquisa, 124), Belém, Pará, 1992, 40pp.

WITTMANN, F; SCHONGART, J; QUEIROZ, H.L; WITTMAN, A.O; CONSERVA, A.S; PIEDADE, M.T.F; KESSELMER, J; JUNK, W.J. The amazon floodplain Demostration Site: Sustaintable timber production and management of Central Amazonian white-water floodplains. **Ecohydrology & Hydrology**, v. 9, 2009

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees a review, **IAWA Journal**, Vol. 16, 1995; 337-351

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, 391-403 p.

WORBES, .; e SCHONGART, J. Measures for sustainable forest management in the tropics – A tree-ring based case study on tree growth and forest dynamics in a Central Amazonian lowland moist Forest, **Plos One**, 2019

ZENID, G. J; CECCANTINI, G. C. T. **Identificação macroscópicas de madeira**, Laboratório de Madeira e Produtos Derivados Centro de Tecnologia de Recursos Florestais Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2007.

ZUMAETA, L.E.C.; TOMAZELLO FILHO, M; VIANA, L.C; CASTILLO, D; ALZA, F.Y; TORRES, G. Uso de la densitometría de rayos X y de la espectroscopia en el infrarrojo cercano para predecir las propiedades tecnológicas de la madera en especies forestales. **Xilema**, Lima, v. 1, 2009, 81-86 p.