



Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTIC
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA
Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, PPG-CFT

CRESCIMENTO DE ÁRVORES DE *BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL EM PLANTIO
FLORESTAL NA AMAZÔNIA CENTRAL

ANTONIELE MARIA NEVES PINHO

Manaus, Amazonas
Dezembro 2023

ANTONIELE MARIA NEVES PINHO

CRESCIMENTO DE ÁRVORES DE *BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL EM PLANTIO
FLORESTAL NA AMAZÔNIA CENTRAL

Orientador: Dr. Joaquim dos Santos

Coorientador: Dr. Francisco Gasparetto Higuchi

Dissertação de Mestrado
apresentado ao programa de pós-graduação
em Ciências de Florestas Tropicais do
Instituto Nacional de Pesquisas da
Amazônia, como parte dos pré-requisitos
para obtenção de título de mestre em
Ciências de Florestas Tropicais.

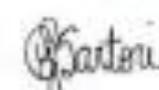
Manaus, Amazonas
Dezembro 2023

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO - MESTRADO

Ata da Defesa remota de **ANTONIELE MARIA NEVES PINHO**, ocorrida no dia 18/12/2023, via plataforma de videoconferência Zoom.

Aos 18 dias de dezembro de 2023, às 13h00 (horário de Manaus/AM), realizou-se a Defesa Pública de Dissertação de **ANTONIELE MARIA NEVES PINHO**, aluna do Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências de Florestas Tropicais, intitulada "**Crescimento de árvores de *Bertholletia excelsa* Bonpl em plantio florestal na Amazônia central**", sob a orientação do Dr. Joaquim dos Santos (INPA), e coorientação do Dr. Francisco Gasparetto Higuchi (HDOM), em conformidade com o Art. 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCT/INPA) e Art. 67 do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, como parte das atividades para conclusão e obtenção do Título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais. A **Banca Examinadora** foi constituída pelos seguintes membros: Plínio Barbosa de Camargo (USP), Caroline Junqueira Sartori (IFMG/SJE), Matheus Peres Chagas (UFG), e tendo como suplentes os seguintes membros: Israel de Jesus Sampaio Filho (INPA), Cythia Wrigh (US Forest Service), Bruno Oliva Gimenez (INPA), Bruno Oliveira Lafetá (IFMG/SJE). O Presidente da Banca Examinadora deu início à sessão e informou os procedimentos do exame. A aluna fez uma exposição do seu estudo e ao término foi arguida oralmente pelos membros da Comissão. Após as arguições os membros da banca se reuniram para avaliação e chegaram ao seguinte parecer:

Nome	Parecer	Assinaturas
Plínio Barbosa de Camargo	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	
Caroline Junqueira Sartori	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	
Matheus Peres Chagas	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	
Menção:	<input type="checkbox"/> "Com Distinção" <input type="checkbox"/> "Com Louvor" <input type="checkbox"/> "Com Distinção e Louvor"	

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata que, após lida e aprovada, foi assinada pela Coordenação


Joaquim dos Santos
Presidente da Banca / Orientador


Adriano José Nogueira Lima
Coordenador do PPG-CFT
PO. N° 392/2023

P654 Pinho, Antoniele Maria Neves

Crescimento de árvore de *Bertholletia excelsa* bonpl em plantio florestal na amazônia central / Antoniele Maria Neves Pinho; orientador(a) Joaquim dos Santos; coorientador(a) Francisco Gasparetto Higuchi ., - Manaus: [s.l.], 2023.

1.4 KB

44p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2024.

1. Manejo. 2. Isótopos . 3. Crescimento. I. Santos, Joaquim dos. II. Higuchi, Francisco Gasparetto. III. Título.

CDD 634.9752

Sinopse

Neste estudo foram investigadas como as árvores de *Bertholletia excelsa* se comportam em relação ao crescimento e às variáveis ambientais. Para tanto foram utilizados o incremento anual do diâmetro e altura e análises de isótopos estáveis de carbono em resposta aos efeitos da temperatura e precipitação com objetivo de avaliar o crescimento da espécie em condição de plantio.

Palavras-chave: Incremento, diâmetro, altura, isótopos estáveis, temperatura e precipitação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela força e coragem, por não soltar minhas mãos e jamais me abandonar em nenhum momento. Deus, gratidão por tanto!

Agradeço também a uma das pessoas mais especiais da minha vida, que escolhi e escolho todos os dias para estar ao meu lado, meu marido, Ruiro de Paula. Muito obrigada por ser este companheiro tão sensacional. Gratidão por me compreender e por estar do meu lado, por me ouvir, por me incentivar e me aconselhar sempre.

Agradeço à minha família, minha mãe e meu padrasto (Abigail e Wilson) aos Meus avós, (Geraldo e Maria de Jesus), e aos meus irmãos (Franciely, João Marcos e Marcos Paulo). Obrigada por sempre acreditarem em mim, por todo amor e carinho.

Agradeço aos amigos da pós que estarão eternamente em meu coração (Daisy, Sarah, Édson, Alicia, Thiago, Débora, Arrildo, Adriana, Israel e Regisson), obrigada pelos bons momentos e por tudo que aprendemos juntos!

Agradeço muito ao meu orientador Joaquim dos Santos que me deu bons conselhos e sempre confiou no meu potencial, me trazendo palavras de conforto quando necessário e agradeço ao meu coorientador Francisco Higuchi pelo apoio.

Agradeço a todos os membros do Laboratório de Manejo Florestal (LMF) que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento e para conclusão desta dissertação de mestrado, em especial ao Dr. Niro Higuchi por ter despertado o meu interesse em realizar o mestrado no INPA e ao Dr. Adriano e a Msc Lidiane que me acompanharam desde o início.

Agradeço imensamente ao Dr. Plínio Barbosa por ceder um espaço para realização das análises e me acompanhar em todo processo. Agradeço também ao Matheus Peres Chagas e a Caroline Sartori por aceitarem fazer parte da banca. Gratidão!

Agradeço aos meus colegas da Hdom, Yago, Klicia e Jessé pela ajuda e por todas as risadas.

Agradeço mais uma vez a Sarah Camelo, que além da amizade de sempre, me auxiliou em todas as etapas do projeto com muita dedicação e carinho, e ao Wanderley (Vandeco), Senhor Geraldo, Rone e Seu Bico pelo auxílio na etapa de campo e preparo das amostras. E a todos os outros que de alguma forma me apoiaram!

Agradeço ao INPA, ao PPG/CFT, ao INCT Madeiras da Amazônia, a FAPEAM, ao CNPq, ao Laboratório de Manejo florestal, à Fazenda Aruanã, ao Laboratório de Ecologia Isotópica-CENA/USP e a Hdom Consultoria Ambiental que me auxiliaram e me apoiaram na realização desta pesquisa.

E por fim, agradeço a mim, pois sem mim, nada disso seria possível!

Que acima de todo sucesso, sejamos felizes!

AADES.

RESUMO

Bertholletia excelsa Bonpl é uma espécie com potencial madeireiro bem aceita pelo mercado consumidor, que apresenta bom desempenho em reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Pesquisas que avaliem o crescimento da espécie e como ela responde a diferentes condições climáticas e ambientais são consideradas importantes para o manejo e atividades silviculturais. Os isótopos estáveis são ferramentas que podem ser utilizadas para compreensão do comportamento de plantas ao longo de sua vida. A determinação do crescimento do tronco por meio de análise de anéis e de isótopos estáveis, geram informações sobre as condições ambientais disponíveis ao longo do crescimento das árvores e sobre fatores que influenciam no crescimento. Em busca de obter mais informações sobre a crescimento da espécie, o presente trabalho possui o objetivo de investigar o crescimento e o efeito das variações de temperatura e precipitação em árvores de *Bertholletia excelsa* Bonpl em plantio florestal na Amazônia Central. A pesquisa foi realizada na Fazenda Aruanã, localizada na Rodovia AM 010 no km 215, município de Itacoatiara. A área de corte possui 12,45 ha onde foram plantadas 33.000 mudas no ano de 1999 com espaçamento de 2,5 x 1,5. Foram selecionadas 30 árvores, em 5 classes diamétricas distintas, de forma aleatória, seguindo o critério de fuste retilíneo e boas condições fitossanitárias. De todas as árvores foram obtidos discos da altura 1,30m (DAP). Após a demarcação do limite e mensuração dos anéis de crescimento, em 4 raios, as séries cronológicas foram sincronizadas e padronizadas por meio dos programas COFECHA e ARSTAN, respectivamente. Foram utilizadas 27 árvores na análise de crescimento em diâmetro e altura e 15 árvores para as análises de isótopos estáveis de carbono. Os resultados obtidos nesta pesquisa apontam que o crescimento entre as árvores de *Bertholletia excelsa* Bonpl apresenta um padrão diferente de crescimento e que o plantio ainda não atingiu o seu potencial máximo de produção, sendo necessário a realização de práticas de manejo visando a retirada de indivíduos de diâmetros inferiores. Além disso, as variações de temperatura e precipitação isoladas, não foram capazes de determinar o incremento e a composição isotópica dessas árvores. De maneira geral, a espécie apresentou um bom desempenho fortalecendo o seu potencial para ser utilizada em áreas de reflorestamento, sendo recomendado o acompanhamento desde o período inicial do plantio para auxiliar nas práticas de manejo e tomada de decisões.

Palavras-Chave: Castanheira; Anéis de crescimento; Isótopos estáveis.

ABSTRACT

Bertholletia excelsa Bonpl is a species with timber potential that is well accepted by the consumer market and performs well in reforestation and recovery of degraded areas. Research that evaluates the growth of the species and how it responds to different temperature and rainfall conditions is considered important for management and silvicultural activities. Stable isotopes are tools that can be used to understand the behavior of plants throughout their lives. Determining trunk growth by means of ring and stable isotope analysis provides information on the environmental conditions available during tree growth and on the factors that influence growth. In order to obtain more information on the growth of the species, the aim of this study was to investigate the growth and effect of variations in temperature and rainfall on trees of *Bertholletia excelsa* Bonpl in a forest plantation in Central Amazonia. The research was carried out at Fazenda Aruanã, located on the AM 010 highway at km 215, in the municipality of Itacoatiara. The cutting area covers 12.45 ha, where 33,000 seedlings were planted in 1999 at a spacing of 2.5 x 1.5. Thirty trees in five different diametric classes were randomly selected according to the criteria of straight stem and good phytosanitary conditions. 1.30m height discs (DBH) were obtained from all the trees. After marking and measuring the growth rings in 4 radii, the rings were synchronized and standardized using the COFECHA and ARSTRAN programs, respectively. 27 trees were used for diameter and height growth analysis and 15 trees were used to take samples from the growth rings for stable carbon isotope analysis. The results obtained in this study indicate that the growth of *Bertholletia excelsa* Bonpl trees shows a different growth pattern and that the plantation has not yet reached its maximum production potential, making it necessary to carry out management practices aimed at removing individuals with smaller diameters. In addition, variations in temperature and rainfall alone were unable to determine the increment and isotopic composition of these trees. In general, the species performed well, strengthening its potential for use in reforestation areas. Monitoring from the initial planting period is recommended to help with management practices and decision-making.

Keywords: Chestnut trees; Growth rings; Stable isotopes

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	PERGUNTA.....	3
3.	OBJETIVO GERAL.....	3
3.1	Objetivos específicos.....	3
4.	HIPOTESE	3
5.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
5.1	Floresta Amazônica	4
5.2	Reflorestamento Comercial	5
5.3	<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.....	6
5.4	Análise de anéis de crescimento no tronco.....	8
5.4.1	Caracterização anatômica dos anéis de crescimento	8
5.4.2	Delimitação, contagem e mensuração dos anéis de crescimento.....	9
5.5	Isótopos.....	9
6.	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
6.1	Caracterização da área de estudo.....	12
6.2	Seleção das árvores e coleta das amostras.....	13
6.3	Caracterização anatômica macroscópica do anéis de <i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	14
6.4	Preparo das amostras do lenho, delimitação e medição da largura dos anéis de crescimento	14
6.5	Padrão de crescimento, incremento radial e crescimento em altura.....	14
6.6	Sincronização das séries cronológicas dos anéis de crescimento.....	15
6.7	Análise isotópica.....	16
7.	ANÁLISE	17
7.1	Anéis de crescimento.....	17

7.2	Isótopos de $\delta^{13}\text{C}$	17
8.	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	17
8.1	Caracterização Anatômica.....	17
8.2	Padrão de crescimento diamétrico das árvores.....	18
8.3	Incremento diamétrico e crescimento em altura, ICA e IMA.	22
9.	Incremento diamétrico, razão isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, temperatura e precipitação.	27
10.	CONCLUSÃO.....	32
11.	REFERÊNCIAS	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Aruanã, Itacoatiara (AM) - Área de estudo.....	12
Figura 2. Precipitação média (INMET) entre os anos 1998-2021 para a região de Manaus (barras) e temperatura média anual nos anos de 1998 - 2021 (linhas). Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), via: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assun	13
Figura 3. Crescimento diamétrico acumulado em função da quantidade de anéis.....	21
Figura 4. Gráfico de dispersão residual do modelo logarítimo ajustado.....	23
Figura 5. Curva do volume em função da idade em anos.	25
Figura 6. Relação entre as classes diamétricas, número de indivíduos por classe e volume em m ³ por árvore, onde as barras representam os números de indivíduos por classe diamétrica e a linha vermelha representa o volume em m ³	25
Figura 7. Curva de ICA e IMA, do volume em função da idade, por árvore. SQE= 0,44	26
Figura 8. Concentração de $\delta^{13}C$ por ano. A linha tracejada indica a tendência linear dos valores de $\delta^{13}C$ com o passar dos anos. $R^2= 0,7172$	28
Figura 9. Correlação entre a precipitação anual (mm) e a cronologia do crescimento das árvores (cm) de <i>B.excelsa</i> . $R:0,217$ ao longo dos anos.	29
Figura 10. Matriz de correlação entre as variáveis de crescimento (cm), isótopos, precipitação anual (mm) e temperatura (°C).	29
Figura 11. A: Correlação entre a precipitação mensal e a cronologia de crescimento. B: Correlação entre a temperatura e a cronologia de crescimento. Ao nível 95% de probabilidade.	30
Figura 12. A= correlação precipitação mensal e $\delta^{13}C$. B= correlação temperatura mensal e de $\delta^{13}C$. 95% de confiança.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição das classes diamétricas em diferentes amplitudes de diâmetro, das árvores de <i>B. excelsa</i> selecionadas no estudo.....	13
Tabela 2. Resumo dos resultados do controle da qualidade das séries criadas pelo COFECHA.	18
Tabela 3. Classes diamétricas, número de árvore por classe, média de incremento e intervalo de confiança (IC = 95%).....	19
Tabela 4. Estatística dos dados obtidos do ajuste do modelo logarítimo.	23
Tabela 5. : Comparação entre estudos feitos avaliando o crescimento de <i>B. excelsa</i> em diferentes condições.	24
Tabela 6. Árvores amostradas, correlação obtida pelo COFECHA e quantidade de amostra por árvore.....	27
Tabela 7. Correlação mensal entre a cronologia de crescimento e os dados mensais de precipitação ao nível de 95% de probabilidade.	30

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E UNIDADES

DAP	Diâmetro a Altura do Peito
IA	Incremento Acumulado
IMA	Incremento Médio anual
ICA	Incremento Corrente Anual
$\delta^{13}\text{C}$	Isótopo de carbono
INMET	Instituto Nacional e Meteorologia
IC	Intervalo de Confiança
R-	R quadrado
R	R ajustado
Temp	Temperatura
E	Espaçamento
Ht	Altura total
IMAh	Incremento Médio Anual da altura
IMAd	Incremento Médio anual do diâmetro
eq	Equação
V	Volume
Ff	Fator de forma
m ³	Metros cúbicos
SQE	Soma dos Quadrados dos Erros
D13C	$\delta^{13}\text{C}$
Prec	Precipitação

1. INTRODUÇÃO

A madeira é uma matéria prima considerada única e insubstituível, sendo cada vez mais requisitada. Devido à queda do seu estoque nos países que dominavam o mercado de madeira tropical e a tendência no aumento na demanda e produção até 2050 (ITTO, 2021), o Brasil tem a oportunidade de se sobressair na produção madeireira, principalmente, na região amazônica. O Manejo florestal sustentável é uma importante ferramenta para abastecer o mercado (Uehara et al., 2011; Sabogal, 2006), assim como o reflorestamento, em áreas que já foram desmatadas, como uma forma de atender a demanda com plantios de espécies comerciais e de adquirir madeira em um menor período (Valois, 2003).

Do ponto de vista produtivo, o reflorestamento comercial com espécies comerciais possibilita maior produção e produtividade, redução de custos, regularidade e homogeneidade, e do ponto de vista da conservação é uma alternativa para diminuir a demanda por produtos madeireiros oriundos de florestas nativas (Salomão, 2014). Assim, viabilizar e incentivar plantios florestais é importante para proteção e conservação dessas florestas. O potencial das espécies amazônicas em plantios sob diferentes condições é evidente (Alencar e Araújo, 1980; Uchida e Campos, 2000; Oliveira-Neto et al., 2002; Sabogal 2006; Costa et al., 2009; Ferreira e Tonini, 2009; Cordeiro et al., 2015; Souza et al., 2017; Guimarães et al., 2018), e uma das espécies com alto potencial é a *Bertholletia excelsa* Bonpl (castanha da Amazônia ou castanheira), que possui importância econômica, social e ecológica na região (Salomão, 2014).

A castanheira é uma das espécies mais utilizadas em projetos de reflorestamentos e em sistemas agroflorestais, principalmente, por pequenos produtores (Hoch et al., 2009; Costa et al., 2009; Scoles et al., 2011; Ferreira et al., 2012). Possui capacidade de rebrota (Scoles et al., 2011), se desenvolve e exhibe respostas ecofisiológicas que garantem a plasticidade fenotípica em diferentes condições de irradiância (Souza et al., 2017). Sua madeira é aceita pelo mercado consumidor e possui características viáveis para construção civil, naval, esteios e obras externas (Tonini e Arco-verde, 2005). Devido as grandes pressões, a espécie é protegida por lei pelo decreto nº 5.975 de novembro de 2006, artigo 29, e o seu plantio tem sido incentivado nos últimos tempos, em busca de inserir as áreas degradadas ao processo produtivo (de Souza, 2016).

A tomada de decisão pela espécie a ser implementada em projetos de reflorestamento depende do objetivo do plantio e das informações sobre o crescimento dos indivíduos arbóreos, como o incremento diamétrico, crescimento em altura (Incremento Médio Anual - IMA e Incremento Corrente Anual - ICA) e como estes índices se comportam com variações climáticas

(Silva e Pinto 2005).

Geralmente os plantios são monitorados desde o seu início, no entanto, em alguns casos, passam a ser monitorados depois de um período já estabelecido e informações de crescimento em altura e em diâmetro só são registradas em idades avançadas, e para recuperar dados de crescimento em plantios comerciais, onde não houve o monitoramento desde o início, por meio de inventários florestais contínuos, existem outras alternativas para obtenção do ICA e o IMA e das informações referentes à dinâmica de crescimento das espécies, como por meio da análise de anéis de crescimento e isótopos estáveis (Munhoz, 2011; Schons., et al 2018; Cintra., et al 2019; Cintra, 2021). Essas análises possibilitam estudos de incremento e reconstituição de eventos que foram importantes ao longo da trajetória de vida das espécies (Fritts, 1976) e ainda avaliar as informações registradas em sua madeira ao longo do desenvolvimento das árvores às condições climáticas (Hughes, 2002; Sheppard, 2010).

O estudo dos anéis de crescimento (dendrocronologia) possibilita a obtenção de um extenso conjunto de dados para reconstrução do crescimento de árvores, sendo utilizada individualmente na determinação do diâmetro anual, altura e crescimento em volume (Vendruscolo et al., 2018). É importante destacar que o crescimento das espécies pode ser influenciado por dentre outros fatores, pelos fatores climáticos como temperatura e precipitação (Silva e Pinto 2005). Sendo assim, é necessário considerar as condições em que as árvores estiveram expostas durante o seu desenvolvimento e como elas respondem a estas condições. Para a compreensão do comportamento das plantas ao longo de sua trajetória de vida, os isótopos estáveis têm se tornado uma importante ferramenta. Estudos de Isótopos estáveis de carbono e oxigênio têm sido utilizados para reconstrução climática, determinação da taxa de crescimento em anéis de árvores, estudos de sazonalidade no crescimento e uso de reservas de carboidratos e ainda para determinação da origem geográfica de espécies (Poussart et al., 2004; Shibuya, 2005; Horacek et al., 2009; Fichtler et al., 2010 Gori et al., 2013; Gulbranson et al., 2013; Lee et al., 2015; Apaéstegui et al., 2018; Ramesh et al., 2017; Faberi et al., 2018; Gori et al., 2018; Cintra et al., 2019; Ampuero et al., 2020).

A determinação do crescimento do tronco das árvores por meio da análise de anéis juntamente com a análise isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ por exemplo, geram informações relevantes sobre a condutância estomática e condições climáticas ao longo do crescimento da árvore. Estas informações são bases fisiológicas importantes para interpretação do passado e para prever uma futura tendência nas interações entre a espécie e a atmosfera (Chagas, 2013).

Schöngart et al., (2015) verificaram a formação de anéis de crescimento anuais em

árvores de *B. excelsa* Bonpl. Ainda, segundo Trevizor (2011), a espécie possui potencial dendrocronológico, pois apresentam anéis de crescimento distintos. Dessa forma, a análise de anéis de crescimento e isótopos estáveis podem contribuir para melhor compreensão do crescimento da *B. excelsa* Bonpl e do seu comportamento diante de determinadas alterações ambientais e ainda verificar a variação isotópica decorrente destas alterações, auxiliando no manejo florestal da espécie.

Sendo assim, esta pesquisa buscou investigar o crescimento de árvores de *B. excelsa* Bonpl e avaliar como elas respondem às variações ambientais em que as árvores foram expostas.

2. PERGUNTA

- Existe padrão no incremento diamétrico entre as árvores de *B. excelsa* Bonpl submetidas às mesmas condições de plantio?
- Como o crescimento diamétrico e em altura são afetados pelas variações anuais da temperatura e precipitação?
- Existe relação entre as variações de temperatura e precipitação com a razão isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ no tronco de *B. excelsa*? E com o incremento diamétrico?

3. OBJETIVO GERAL

Investigar o crescimento e o efeito das variações de temperatura e precipitação em árvores de *B. excelsa* Bonpl em plantio florestal na Amazônia Central.

3.1 Objetivos específicos

- I. Avaliar o padrão de crescimento diamétrico da espécie.
- II. Determinar o incremento diamétrico da espécie de *B. excelsa* Bonpl em condição de plantio e o ICA e IMA.
- III. Correlacionar o incremento diamétrico com a razão isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, temperatura e precipitação.

4. HIPOTESE

- As árvores de *B. excelsa* Bonpl submetidas às mesmas condições de desenvolvimento possui um padrão de crescimento.
- Em anos de maior precipitação e menor temperatura espera-se maior crescimento, e

em anos de condições opostas espera-se menor crescimento.

- Existe relação entre as variações de temperatura e precipitação com $\delta^{13}\text{C}$, no tronco. Menor temperatura e maior precipitação acarretará menores valores de $\delta^{13}\text{C}$.
- Existe relação entre o $\delta^{13}\text{C}$ e o incremento diamétrico; espera-se que menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ estejam associados a maior incremento diamétrico.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Floresta Amazônica

A floresta Amazônica é reconhecida mundialmente por seus recursos naturais. Em que sua extensão territorial, diversidade de espécies da fauna e a maior reserva contínua de floresta tropical existente, constituem o maior ecossistema tropical do mundo (Konhauser et al. 1994; Higuchi 2006). As múltiplas inter-relações entre seus componentes bióticos e abióticos formam um conjunto de ecossistemas complexo e de um frágil equilíbrio (Oliveira e Amaral, 2004). Cada um dos diferentes ambientes florestais possuem um contingente florístico rico e variado (TCA, 1992). A floresta Amazônica possui muitas riquezas como jazidas minerais, diversidade de vegetais e animais (Higuchi, 2012). Segundo o mesmo autor, a floresta desempenha um grande papel na realização das funções e na manutenção dos ecossistemas. Além de manter a biodiversidade desempenha um importante papel na ciclagem da água e armazenamento de carbono (Fearnside, 1997). Acredita-se que seu maior papel seja proteger e assegurar todas as formas de vida ali presentes.

A floresta Amazônica se estende por nove países da América do Sul, sendo eles: Peru, Colômbia, Venezuela, Equador, Bolívia, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e o Brasil, onde abrange os estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Mato Grosso e Maranhão, ocupando cerca de 60% do território brasileiro (Ribeiro et al., 1999; IPEA, 2008). Devido a sua grandiosidade a Amazônia contém o maior reservatório de carbono entre os ecossistemas terrestres, e tem um papel fundamental na mitigação da mudança do clima, fazendo parte do intenso ciclo hidrológico de nosso planeta que alimenta a maior bacia hidrográfica do mundo (Artaxo et al., 2014).

A classificação da formação florestal na Amazônia, de acordo com Oliveira e Amaral (2004), é dividida em dois grupos: floresta de terra firme e florestas inundáveis. De acordo com Pires e Prance (1985), 80% da região é coberta por florestas de terra-firme e apenas 6% por florestas inundáveis, conhecidas como várzeas e igapós (Braga, 1979). Em termos de área: 200

mil km² de várzea e 100 mil km² de igapó (Junk, 1993; Higuchi 2006). O “Manual Técnico da Vegetação Brasileira”, publicado em 2012 (IBGE, 2012), descreve quatro formações: Floresta Ombrófila Aberta (FOA), Densa (FOD) e Estacional Sempre-Verde e Campinarana. De acordo com suas respectivas definições, as Florestas Ombrófilas Densas (FODs) são similares à definição de florestas de terra firme.

5.2 Reflorestamento Comercial

O reflorestamento para fins comerciais vem crescendo e mostrando a sua importância econômica, participando na renda do setor silvicultural (Veríssimo e Pereira, 2015), juntamente com as pesquisas científicas relacionadas ao tema. A crescente demanda por madeira, tanto no mercado interno quanto no mercado externo, tem instigado o setor industrial de base florestal a utilizar madeiras provenientes de florestas plantadas (Cordeiro et al., 2015). Em uma pesquisa realizada por Sabogal (2006), os fatores que levaram à implementação de experiências silviculturais na Amazônia brasileira por empresários são o auto-abastecimento e a reposição florestal obrigatória; no caso de produtores familiares os fatores são a necessidade de fazer investimento para o futuro e de reflorestar a propriedade. É possível notar por parte dos empresários e produtores o desejo de investir em suas áreas com produção silvicultural em busca de um retorno a curto ou a longo prazo.

O reflorestamento com base silvicultural é uma das formas mais importantes de manejar florestas e oferecer madeira para a demanda do mercado. Desde 1950, pesquisas florestais vem sendo conduzidas na Amazônia brasileira (Pitt 1961; Dubois 1970; Sabogal, C. 2006; de Souza 2008; Souza et al., 2017). Apesar de poucas, existem experiências no setor silvicultural na Amazônia que demonstram o potencial das espécies (Sabogal, 2006). As informações disponíveis, ainda causam insegurança para o investimento, sendo ainda necessário dados sistematizados sobre a silvicultura de espécies arbóreas florestais nativas relativas à sua ecologia e silvicultura (Sabogal, 2006; Costa, 2009; Verissimo e Pereira, 2015).

As pesquisas silviculturais brasileira tem apresentado uma excelente evolução no que diz respeito às espécies exóticas, devido principalmente à política pública de incentivos fiscais, entre os anos de 1966 à 1988, chamado de Fundo de Investimento Setorial para Florestamento e Reflorestamento aplicadas ao setor de reflorestamento, avançando com tecnologia silvicultural, principalmente para os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (Sabbag, 2011). Já a evolução de pesquisas para espécies nativas são iniciativas recentes. O Brasil possui cerca de 10 milhões de hectares de florestas plantadas, onde os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* e representam cerca de

95% sendo 76% e 19% respectivamente (Indústria Brasileira de Árvores - IBA, 2023). No entanto, o investimento em espécies nativas pode apresentar mais vantagens e ser mais adequado para pequenos produtores locais e plantios em menor escala (Orellana et al., 2018), pois as espécies vão possuir uma melhor resposta a ataque de pragas e doenças, uma boa adaptação ao ambiente e garantir a biodiversidade ecossistêmica do local.

As principais informações necessárias para o sucesso do reflorestamento para fins comerciais são voltadas para o planejamento adequado e índice de sítio (capacidade produtiva) (Brandelero et al., 2007). A produção e seleção das mudas, preparo do solo, plantio, desbaste, adubação, proteção contra ataques de pragas e outras práticas, são responsáveis pela elevação da produtividade e qualidade dos povoamentos florestais (Ribeiro, 2002). A obtenção do máximo rendimento é possível por meio da análise de produtividade, sendo um fator importante na realização de intervenções silviculturais. Para a realização de planos de manejo é necessário avaliar o potencial produtivo da cultura, permitindo a previsão de crescimento e produção florestal (Alemdag, 1991).

Um conceito muito importante que vem sendo falado nos últimos anos é o da silvicultura de precisão, que se baseia em administrar a floresta fundamentada em um conhecimento prévio da variabilidade espacial e temporal de produção e produtividade. Com base na coleta e análise de dados geoespaciais e informações mais detalhadas da condução na área florestal, a silvicultura de precisão torna viável as intervenções localizadas na floresta, com exatidão e precisão adequadas, além de reduzir custos devido ao manejo correto das atividades (Brandelero et al., 2007; Vettorazzi e Ferraz, 2000; Ribeiro, 2002).

5.3 *Bertholletia excelsa* Bonpl

B. excelsa Bonpl é uma espécie nativa da Amazônia, pertencente à família Lecythidaceae e possui nome popular de Castanha do Brasil, Castanha do Pará ou Castanheira. Ocorre nos estados de Rondônia, Amazonas, Acre, Maranhão, Roraima, Amapá, Mato Grosso e o norte de Goiás (Araújo et al., 1984; Lorenzi, 1992). Apresenta boas características para reflorestamento, possuindo a madeira moderadamente pesada, caule cilíndrico e liso. É uma espécie de porte alto atingindo cerca de 50m de altura, sua copa varia de 20 m a 40 m de diâmetro e suas folhas são simples, glabras com 25 a 35 cm de comprimento (Fernandes e Alencar, 1993; Salomão et al., 1995; Souza, 2002; Lorenzi, 1992).

Trata-se de uma espécie bela e majestosa, reúne características como: alta longevidade, grande produção de castanha comestível, tronco retilíneo e madeira de qualidade, que a torna

uma das mais apreciada do bioma Amazônico. O valor econômico de seus frutos sempre foi relevante regionalmente. No Pará e no Amazonas, por exemplo, a espécie ganhou espaço, chegando ao topo das vendas e exportações (Salomão, 2014). Após o ciclo da borracha, a economia paraense e amazonense havia adormecido por um bom tempo e graças a castanha - e seu enorme potencial - se reestabeleceu (Salomão, 2014).

O fruto da espécie é conhecido popularmente como ouriço, é um envoltório indeiscente, lenhoso de alta dureza, normalmente se apresenta em formato esférico ou levemente achatado. Em seu interior, possui cerca de 18 sementes com amêndoas de elevado poder nutritivo (Camargo et al., 2000). Segundo Tonini e Arco-verde (2005), a madeira da *B. excelsa* Bonpl é bastante apreciada pela sociedade e possui boas características para construção civil, naval esteios e obras externas. Possui aparência agradável, é relativamente fácil de trabalhar, produz um bom acabamento e é bastante duradoura (Loureiro et al., 1979; Loureiro et al., 2000). A madeira é moderadamente pesada, com densidade que varia de 0,70 a 0,75 g/cm³. O cerne e alburno possuem coloração distintas entre si, possui textura média, com cheiro e gosto distintos, possui secagem artificial lenta podendo apresentar rachaduras e empenamentos, entretanto é uma madeira duradoura em contato com solo e água. A madeira pode ser utilizada em forros, vigas, assoalhos, móveis, paredes, compensados e lâminas, além de ser uma madeira requisitada para estrutura de telhados e formas de concreto e caixaria (Souza, 2002; Alves et al, 2007; Carvalho, 2014).

De acordo com Albuquerque (1999), um ponto muito importante é que o ataque de pragas em plantios de *B. excelsa* não são considerados um fator limitante, o que também foi observado por Tonini et al., (2009). Além disso, a espécie apresenta boa capacidade de rebrota (Scoles et al., 2011), bom crescimento em sistemas agrosilviculturais (Tonini et al., 2009) e em exposição de luz solar (Scoles et al., 2011), exibindo respostas ecofisiológicas que garantem a plasticidade fenotípica em diferentes condições de irradiância (Souza et al., 2017). Isso indica seu potencial para ser utilizada em áreas de reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e em sistemas agrosilviculturais. Dessa forma, a combinação entre o bom desempenho no crescimento e produção volumétrica com a ausência de problemas fitossanitários, sua boa forma de fuste e tolerância à luz, a castanheira é considerada uma das espécies nativas da floresta amazônica que mais gera boas expectativas para o reflorestamento (Yared et al., 1993).

5.4 Análise de anéis de crescimento no tronco

5.4.1 Caracterização anatômica dos anéis de crescimento

Um dos primeiros passos para realização de estudos de anéis é a definição das estruturas anatômicas das camadas de crescimento e o limite dos anéis. É imprescindível a aplicação de metodologias e análise acuradas para caracterizar e determinar os anéis de crescimento nas espécies tropicais e subtropicais, além de identificar os fatores climáticos-ambientais que determinam a atividade cambial diferenciada que leva a formação de anéis de crescimento (Tomazello Filho et al., 2001; Chagas, 2013).

É comum encontrar no lenho das árvores das diferentes espécies, falsos anéis de crescimento, ou até mesmo incompletos ou ausentes (Chagas, 2009). Isso se dá devido ao fato de que a atividade cambial, responsável pela formação de anéis de crescimento, sofre interferência de fatores bióticos e abióticos, além do próprio genótipo da espécie (Tomazello Filho et al., 2001)

Durante o crescimento ocorre a divisão e aumento celular e espessamento da parede das fibras e traqueídes, que formam estruturas visíveis na madeira (Gartner et al., 2002). A formação de células em cada estação do ano normalmente forma um contraste, que é utilizado para delimitar cada anel de crescimento que são camadas formadas no xilema secundário de troncos e ramos (Fritts, 1971). De acordo com Ferrero et al., (2014), em folhosas, é possível identificar os limites dos anéis de crescimento por meio das diferenças no diâmetro e distribuição dos vasos do lenho inicial e tardio, presença de fibras de paredes mais espessas e lúmens com menor diâmetro na madeira tardia ou pela ocorrência de uma faixa marginal de parênquima axial.

Vale ressaltar a existência de dois métodos para investigação dos anéis de crescimento e o ritmo de crescimento em diâmetro do tronco das árvores, sendo eles o método dinâmico e o estático. O método estático é o que utiliza metodologias da anatomia do lenho e dendrocronologia como: 1: caracterização anatômica, marcação, contagem e mensuração de anéis de crescimento das amostras que podem ser extraídas por métodos destrutivos e não destrutivos; 2: datação dos anéis de crescimento por radiocarbono; 3: datação de cicatrizes provocadas por incêndios, 4: determinação da variação radial da densidade por densitometria de raios x; 5: isótopos estáveis, entre outros (Chagas 2009; Palermo et al 2002)

Segundo Botosso (2009), a caracterização anatômica da madeira pode ocorrer de forma macro e microscópica. As características anatômicas macroscópicas são possíveis de observar

a olho nu, ou com a utilização de uma lupa de 10 aumentos. Estas características são reunidas em dois grupos diferentes sendo eles as organolépticas (cor, brilho, odor, gosto, grã, textura, densidade, dureza e desenhos da madeira) e as anatômicas (aspectos relacionados aos anéis de crescimento ou camadas de crescimento), forma, tamanho ou distribuição de elementos celulares, como: vasos (ou poros), parênquima axial e raios parenquimáticos. Já a caracterização anatômica microscópica consiste em uma análise de identificação microscópica, onde é possível observar as peculiaridades e características dos tecidos e das células constituintes do xilema secundário (lenho).

5.4.2 Delimitação, contagem e mensuração dos anéis de crescimento

A contagem dos anéis é um passo importante podendo ser feita por amostras obtidas pelo método destrutivo, onde ocorre o corte da árvore para retirada de disco do lenho, e o não destrutivo que consiste na retirada das amostras do lenho com sonda de incremento/trado. Após a contagem desses anéis normalmente é realizado a mensuração da largura dos anéis de crescimento em mesa de mensuração ou por meio de programas específicos de análise de imagens. Essas informações são valiosas para compreender o ritmo de crescimento das árvores (Palermo et al., 2002)

Coletar várias amostras do lenho seguindo o princípio da repetição, auxilia na identificação dos falsos anéis de crescimento, anéis incompletos ou ausentes. Quando a amostragem de árvores é alta, a possibilidade de algum fator ambiental que não está sendo estudado interferir na análise, diminui. E quando a amostragem dentro da mesma árvore é alta, o valor de um sinal ambiental não desejável, característico e presente em uma única árvore é reduzido (Tomazello Filho et al., 2001).

5.5 Isótopos

Os isótopos são espécies atômicas de um determinado elemento químico que possui diferentes massas, ou seja, possui em seu núcleo diferentes números de nêutrons e iguais números de prótons. Os isótopos podem ser chamados de estáveis e instáveis. Os isótopos estáveis são chamados assim pelo fato de que sua massa não se altera ao longo do tempo, diferentemente dos isótopos instáveis (isótopos radioativos), que ao longo do tempo sua massa pode ser alterada por emissão de energia ou partículas subatômicas (Martinelli et al., 2018).

A sua utilização vem ganhando cada vez mais espaço em diversos ramos da pesquisa.

Possuem propriedades químicas quase idênticas e diferença na massa, o que permite que os processos físicos, químicos e biológicos discriminem um deles, registrando dessa forma, um sinal ambiental (McCarroll e Loader, 2004). A mudança na composição isotópica ocorre quando o elemento se desloca de um compartimento para o outro, passando por um processo físico-químico conhecido como fracionamento (Martinelli et al., 2018). Os estudos ambientais conduzidos possuem como base justamente esta variação previsível da composição isotópica de acordo com a movimentação do elemento nos diferentes compartimentos de um ecossistema que é obtida por meio da relação entre o isótopo mais pesado (raro) e o isótopo mais leve (abundante), (ex $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) (Martinelli et al., 2018).

As árvores são seres que se desenvolvem muitas vezes passando centenas de anos no mesmo ambiente, armazenando nas camadas anuais da madeira o carbono do ar, e o oxigênio e hidrogênio da água (McCarroll e Loader, 2004). Dessa maneira, informações importantes ficam registradas e podem ajudar na compreensão do funcionamento e desenvolvimento de diferentes espécies arbóreas. Os isótopos estáveis do carbono (^{13}C e ^{12}C) presentes nos anéis anuais de madeira são capazes de fornecer informações sobre a fisiologia das árvores, permitindo inferências sobre condições climáticas e ambientais que os indivíduos passaram ao longo do seu desenvolvimento, sendo bastante utilizados em estudos ecológicos e fisiológicos (Ehleringer et al. 1986; Farquhar et al. 1989; Martinelli et al. 1999; Ehleringer et al. 2000; Dawson et al. 2002; Ometto et al. 2006; Coletta et al. 2009; Mardegan et al. 2009; Cintra., et al 2019; Cintra, 2021).

As análises isotópicas da celulose da madeira permitem conhecer por exemplo a fonte da água que abastece a planta com a razão isotópica do oxigênio dezoito ($\delta^{18}\text{O}$) e compreender a variação da condutância estomática ao longo do tempo com a razão isotópica do carbono treze ($\delta^{13}\text{C}$) (Durgante, 2016). A reconstrução das características ambientais regionais como temperatura, precipitação, intensidade luminosa e umidade, por meio da composição isotópica do vegetal é possível pelo fato de que a razão entre os isótopos estáveis nos vegetais varia de acordo com o fracionamento isotópico (Stuiver e Braziunas, 1987; Leavitt, 1990)

As razões isotópicas de carbono nos anéis das árvores são consideradas como um reflexo dos efeitos da fotossíntese, e tem sido bastante utilizado nas investigações da dinâmica temporal e nas respostas das plantas à fatores ambientais (Helle e Schleser, 2004). De acordo com Farquhar et al., (1989), em plantas C3 a discriminação fotossintética de $^{13}\text{CO}_2$ contra o $^{12}\text{CO}_2$ está relacionado com a proporção de folhas, e pela concentração interna e externa da folha (Ci/Ca) que é controlado pela condutância estomática e impulsionado pela taxa de assimilação

de CO₂ (Farquhar et al., 1982; Francey e Farquhar, 1982; Farquhar et al., 1989). A fixação de CO₂ é transferida para o tecido em desenvolvimento dos anéis das árvores e é controlado pela atividade estomática, que por sua vez é induzida/influenciada por mudanças ambientais ao redor das folhas (Helle e Schleser, 2004). Dessa forma se a marcação dos anéis de crescimento anuais ocorrer de forma correta, provavelmente a distribuição radial de isótopos de carbono estáveis dentro de cada anel irá refletir as diferentes condições ambientais que uma árvore esteve condicionada durante seu período vegetativo (Helle e Schleser, 2004).

O $\delta^{18}\text{O}$ é considerado um ótimo parâmetro para mapeamento de variações passadas de ^{18}O em precipitação (Saurer et al., 2002; Shi et al., 2019). Por estas razões os isótopos estáveis têm sido aplicados na identificação da origem geográfica, que é fornecida por fitoquímicos sintetizados, que incorporam os isótopos estáveis específicos naquele ambiente variando de acordo a geologia e com o clima do local de origem (Dormontt et al., 2015). Um trabalho realizado por Gori et al., (2013), na madeira (*Picea abies*) crescendo nos alpes europeus, evidenciou uma forte dependência de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ à fatores climáticos e ambientais, que dependem da localização geográfica da espécie. Gori et al., (2018) observaram a altitude como um forte preditor dos valores isotópicos destes elementos. Os pesquisadores conseguiram ainda prever a proveniência geográfica da madeira em escala regional através da construção de isopaisagens de madeira $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ com resolução anual. A verificação da origem geográfica da madeira utilizando isótopos estáveis de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ é possível por meio de mapas de paisagens, chamados de “isoscape” (Gori et al., 2018; Costa et al., 2019) e a maior parte deles utilizam o $\delta^{18}\text{O}$ (Sena-Souza et al., 2019). As isopaisagens globais de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$, tem uma forte correlação espacial e fornece importantes informações sobre o ciclo da água (Bowen e Good, 2015) e são utilizadas como base para modelos de atribuição geográfica (Sena-Souza et al., 2019).

Um ponto muito importante para avaliação da procedência geográfica da madeira utilizando a análise dos isótopos estáveis, é a avaliação da variação isotópica dentro e entre as árvores (Silva, 2021) já que os valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ na madeira podem variar de acordo com a direção radial da amostra sendo considerado o aspecto principal na retirada da amostra (Gori, 2015).

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido na Fazenda Aruanã, localizada na Rodovia AM 010 (Manaus-Itacoatiara) no km 215, município de Itacoatiara (Figura 1), nas coordenadas 3°0'30.63" S e 58°50'1.50" O. O solo predominante na região é o Latossolo Amarelo Distrófico de textura muito argilosa (Kato,1995). A topografia da área apresenta ondulações, com altitudes variando entre 120 m e 170 m. O clima é do tipo Am (Koppen, 1994), com precipitação anual superior a 2.000 mm e temperatura média de 27,1°C (Figura 2).

A área total da fazenda é de 12.000 hectares, onde cerca de 3 mil hectares são destinados para produção de fruto e cerca de 500 hectares à reposição florestal. A área disponível para corte é denominada como perímetro 1 e possui 12,45 ha, onde foram plantadas 33.000 mudas entre os anos de 1998/1999, com espaçamento de 2,5 x 1,5 metros.

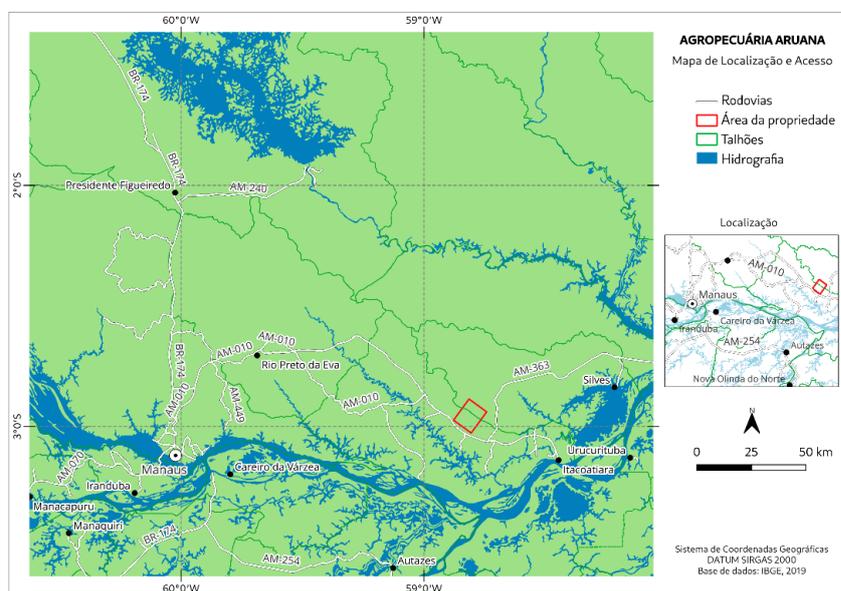


Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Aruanã, Itacoatiara (AM) - Área de estudo.

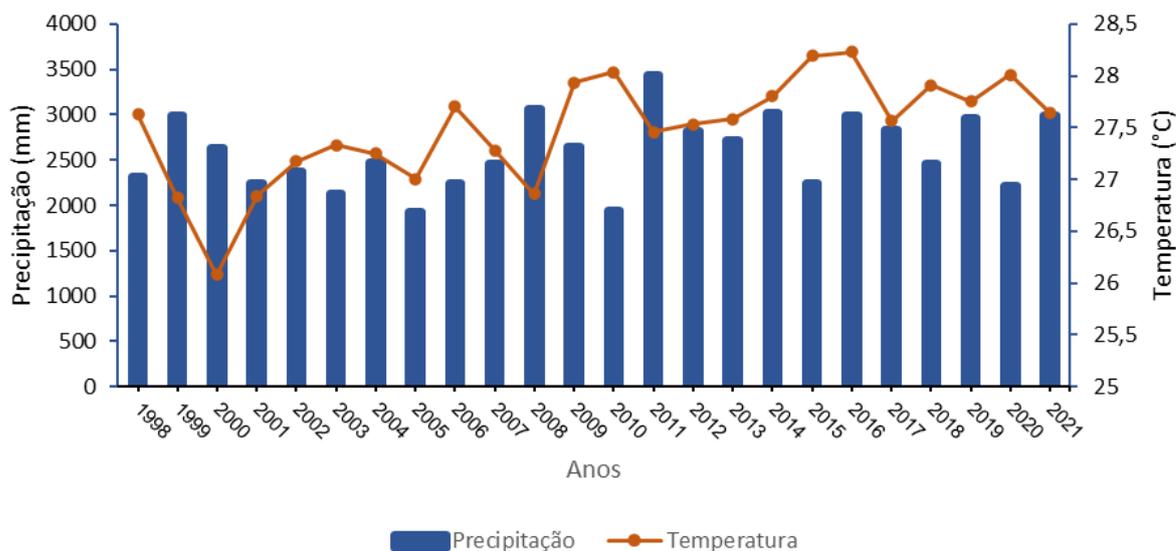


Figura 2. Precipitação média (INMET) entre os anos 1998-2021 para a região de Manaus (barras) e temperatura média anual nos anos de 1998 - 2021 (linhas). Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), via: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assun>

6.2 Seleção das árvores e coleta das amostras

Inicialmente foi realizado um inventário florestal da área onde foi verificado uma distribuição diamétrica variando de 10,6 a 52,5 cm. Após a realização do inventário, as árvores mensuradas foram divididas em 5 classes diamétricas diferentes, conforme descrito na tabela 1.

Tabela 1. Distribuição das classes diamétricas em diferentes amplitudes de diâmetro, das árvores de *B. excelsa* selecionadas no estudo.

Classe	Amplitude (cm)	Nº de árvores
1	10 – 16,4	5
2	16,5 – 22,8	4
3	22,9 – 29,2	9
4	29,3 – 35,6	7
5	>35,6	5

Trinta (30) árvores de cada classe diamétrica foram selecionadas de forma aleatória dentro do plantio e, discos foram obtidos pelo método destrutivo, na altura de 1,30m do solo (diâmetro à altura do peito - DAP), com o uso de uma motosserra. Os discos de cerca de 5 cm de espessura, foram identificados, ensacados em campo e armazenados ao ar livre para evitar proliferação de fungos até o transporte.

6.3 Caracterização anatômica macroscópica do anéis de *Bertholletia excelsa* Bonpl.

Para a caracterização anatômica macroscópica do lenho, com ênfase aos anéis de crescimento, foram utilizados discos com a transversal polida com lixas de granulometria crescente (grã de 40 até 600). Estes, foram examinados a olho nu e com o auxílio de uma lupa de 10 vezes de aumento.

Diversas características das amostras foram observadas, incluindo aspectos gerais como a presença ou ausência de gosto, se a madeira possuía um odor característico, a orientação da grã, a textura da madeira, a presença de anéis de crescimento, bem como o seu brilho e coloração. (IAWA 1989; IBAMA, 1992; Zenid e Ceccantini, 2007).

6.4 Preparo das amostras do lenho, delimitação e medição da largura dos anéis de crescimento

Os discos foram secados ao ar livre e posteriormente lixados com lixas de diferentes grãos (40 a 600) a fim de melhorar a visualização dos anéis de crescimento. As zonas dos anéis de crescimento foram caracterizadas por meio do contraste entre a zona de tecido fibroso e parênquima, onde a zona de tecido fibroso era representado pelo tecido mais escura e o parênquima representado pelo tecido mais claro, apresentando um padrão alternado entre fibra e parênquima, essa característica foi descrita por (Worbes, 1995 e Schongart et al., 2015). Os anéis foram marcados e mensurado em 4 raios por disco, para maior precisão das estimativas. Os limites dos anéis de crescimento foram demarcados com auxílio de uma lupa luminária led com aumento de 8x e um microscópio estereoscópico (lupa de mesa, marca Laborama). Após a demarcação, as amostras foram scaneadas em alta resolução (com escala) e mensuradas por meio do software Image J.

6.5 Padrão de crescimento, incremento radial e crescimento em altura.

Para a definição do padrão de crescimento diametral, os 30 discos, foram submetidos ao preparo, marcação e mensuração conforme descrito no item 6.4. Os dados de largura dos anéis de crescimento gerados foram exportados para o Microsoft Office Excel para elaboração dos gráficos de variação anual da largura dos anéis de crescimento e da taxa de incremento acumulado (IA) do tronco, sendo determinado pela soma da largura de cada anel das séries.

Os dados utilizados para determinar o incremento diamétrico foram retirados dos discos

da altura 1,30m (DAP) das 27 árvores selecionadas, após a realização do controle de qualidade realizada pelo COFECHA. As informações, contemplam dados de crescimento resgatadas por meio da contagem e mensuração dos anéis da idade 3 a 23 do plantio. O incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) foram determinados pelas seguintes equações:

O IMA foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Equação 1 : } IMA = \frac{Raiot}{I}$$

Onde:

IMA = incremento médio anual;

Raiot = comprimento do raio (mm) no ano t;

I= Idade da árvore

O ICA foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Equação 2 : } ICA = L2 - l1$$

Onde:

ICA= incremento corrente anual;

L2= Largura do anel no ano 2;

L1= largura do anel na idade 1.

6.6 Sincronização das séries cronológicas dos anéis de crescimento

Após a mensuração dos anéis de crescimento obtido para cada árvore, procedeu-se a sincronização das séries cronológicas dos anéis de crescimento das amostras, como a datação cruzada, utilizando o programa COFECHA. Este, por meio do ajuste de uma curva polinomial de baixa frequência, seguido da divisão dos valores da largura dos anéis de crescimento pela curva ajustada, remove as tendências observadas para as séries de anéis de crescimento (Holmes et al, 1986). Dessa forma o que é comum entre as séries foi maximizado formando uma única curva, denominada de série master, que é a junção das séries individuais utilizadas. Este procedimento teve como objetivo identificar erros de datação/medição, ausência de anéis ou a presença de falsos anéis de crescimento, além de analisar se as árvores respondem de maneira semelhantes às condições climáticas e ambientais impostas durante o seu desenvolvimento (Chagas, 2013).

Seguindo recomendações de Cook (1989), foi realizada a padronização dos anéis de crescimento, por meio do ajuste dos dados originais da largura dos anéis. O software utilizado na padronização foi o ARSTAN (Cook e Holmes, 1986). Este procedimento possibilita que os valores padronizados de árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, sejam calculados juntos em uma função média. Dessa forma o padrão de crescimento da espécie foi identificado pelos índices de crescimentos que serão obtidos por meio do software, retirando a tendência biológica de crescimento.

6.7 Análise isotópica

6.7.1 Preparo e análise das amostras

Para as análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ foram utilizados 15 discos da altura 1,30 (m). Os discos utilizados foram submetidos ao preparo inicial conforme o descrito no item 6.4. Os anos correspondentes dos anéis foram devidamente identificados e para obtenção das amostras a serem analisadas, os anos 2002, 2003, 2005, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018, 2019 e 2021, foram selecionados. A seleção das amostras considerou anos de ocorrência de eventos climáticos.

As amostras foram levadas à estufa durante 48 h a 60 °C e em seguida moídas em moinho de bolas. Devido a quantidade de amostra e o tempo disponível para realização desta pesquisa, optou-se por realizar a análise na madeira em pó. As amostras passaram por um procedimento de pesagem em uma balança de precisão de duas casas decimais, onde, o peso variou de 0,3 mg a 0,5mg , na sequência, foram encapsuladas em capsulas de estanho e levadas para análise em um analisador elementar acoplado a um espectômetro de massa no Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP). Os resultados obtidos representam a diferença relativa da razão isotópica da amostra a partir de um padrão interno do laboratório de ecologia isotópica, obtido a partir das folhas de cana. O padrão é chamado de SugarCane. A razão isotópica é expressa pela relação entre o isótopo raro (pesado) e o isótopo mais abundante (leve). Devido à dificuldade de interpretação da razão isotópica de uma amostra foi proposto a representação do desvio da razão isotópica da amostra em relação a razão de um padrão. Conforme mostra a equação 1

$$\text{Equação 3: } \delta(^0/_{00}) = (R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}}) - 1$$

7. ANÁLISE

7.1 Anéis de crescimento

A sincronização dos anéis foi realizada utilizando o programa COFECHA. Como resultado o software calculou também a correlação de Pearson entre cada série individual e a série master. A padronização dos anéis foi realizada por meio do programa ARSTAN, que ajustou uma função de regressão aos dados da largura dos anéis de crescimento

7.2 Isótopos de $\delta^{13}C$

A verificação do efeito das variáveis ambientais (temperatura e precipitação) no $\delta^{13}C$ dos anéis das árvores de *B.excelsa*, foram realizada por meio da análise de correlação, utilizando a média de temperatura e precipitação anual, os valores médios dos isótopos de cada anel coletado dos 15 discos das árvores amostradas, e a cronologia do crescimento gerada pelo programa ARSTAN. A fim de explorar melhor os dados obtidos, foram realizados também correlação com dados mensais de temperatura e precipitação para os anos coletados.

8. RESULTADO E DISCUSSÃO

8.1 Caracterização Anatômica

Os anéis de crescimento são caracterizados pela presença, em seu limite, de zona fibrosa associada a diminuição da distância entre as linhas de parênquima axial e do diâmetro e frequência de vasos (Figura 3A-C). Foi observada a presença de falsos anéis de crescimento, caracterizados por uma faixa interanual e descontínua conforme figura 4.

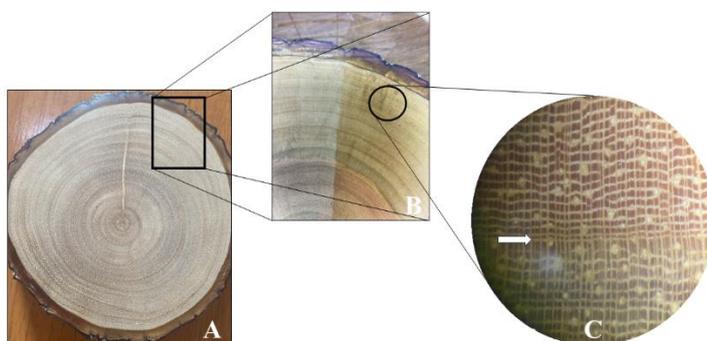


Figura 3: delimitação dos anéis de crescimento.

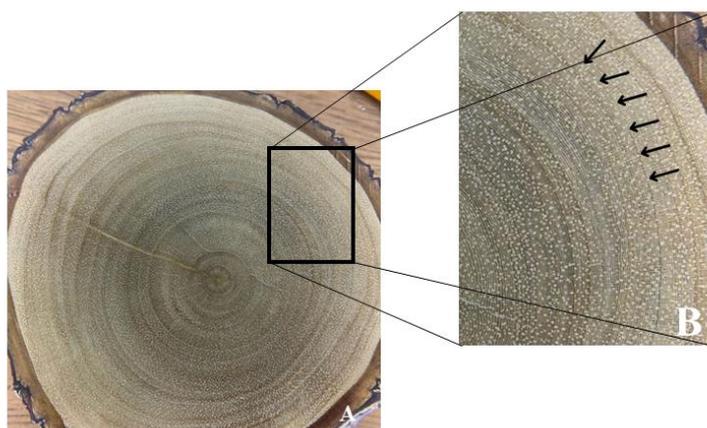


Figura 4: Falsos anéis de crescimento.

8.2 Padrão de crescimento diamétrico das árvores

As correlações foram calculadas em períodos de 20 anos comparados a cada 7 anos, uma vez que as árvores analisadas são jovens. O nível de confiança das análises foi de 99%. Em cada análise gerada no COFECHA foi obtido um relatório contendo os valores de correlação de Pearson entre as respectivas séries, e por meio desta análise foi possível identificar 3 árvores na qual a correlação não foi significativa. Desta forma, foram utilizadas 27 árvores que apresentaram melhor correlação com a série máster. Abaixo são apresentados o resumo dos resultados do controle da qualidade das séries criadas pelo COFECHA (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo dos resultados do controle da qualidade das séries criadas pelo COFECHA.

Parâmetros	<i>B. excelsa</i> Bonpl
Período considerado	2001 – 2021
Correlação crítica (Nível de confiança 99%)	0,7155
Intercorrelação entre as séries	0,629
Sensibilidade média	0,381

O valor de intercorrelação entre as séries indica o potencial da espécie de *Bertholleia excelsa* Bonpl para realizações de estudos de dendrocronologia, colaborando com outros trabalhos realizados. Araújo (2020), verificou em seu trabalho intervalos com altas correlações, com valores chegando a 0,795, ressaltando também o potencial da espécie para estudos relacionados utilizando anéis de crescimento. Outros estudos como de Schöngart et al., (2015) realizado na região de Manaus, rio Purus e Trombetas, comprovaram a formação de anéis anuais

em árvores de *B. excelsa* Bonpl em floresta plantadas com idade de plantio conhecida, assim como neste trabalho.

Considerando todas as árvores, a média do incremento em diâmetro foi de $1,15 \pm 0,13$ cm (IC 95%). No entanto, durante a coleta de dados as árvores foram divididas em cinco classes diamétricas conforme mostra a tabela 3, onde é apresentado a quantidade de árvores coletadas em cada classe e suas respectivas média de incremento em diâmetro, considerando as 27 árvores selecionadas após a análise realizada no COFECHA.

Tabela 3. Classes diamétricas, número de árvore por classe, média de incremento e intervalo de confiança (IC = 95%).

Classe	Amplitude	Nº de árvores	Média de incremento (cm) (IC 95%)
1	10 – 16,4	5	$0,61 \pm 0,11$
2	16,5 – 22,8	3	$0,98 \pm 0,20$
3	22,9 – 29,2	8	$1,14 \pm 0,12$
4	29,3 – 35,6	6	$1,37 \pm 0,13$
5	>35,6	5	$1,70 \pm 0,19$

A média de incremento diamétrico encontrada neste trabalho, ($1,15 \pm 0,13$ cm), está abaixo dos valores encontrados por Locatelli et al., (2015), e por Tonini et al., (2008) 3,14 cm e 2 cm respectivamente, onde ambos avaliaram o crescimento de *B.excelsa* Bonpl em condições de plantio no estado de Rondônia. Essa diferença no incremento possivelmente pode ser explicada pelo espaçamento e seleção das sementes para plantio, além do tipo de solo. De acordo com Lima et al., (2004) a espécie apresenta melhor desempenho em solos com textura argilosa. As áreas de estudos de Locatelli et al., (2015) e de Tonini et al., (2008) são áreas que possuem solos com características argilosas, sendo que, no estudo de Tonini et al., (2008) o solo foi classificado como um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, apesar de ser um solo que apresenta relativamente baixos níveis de fertilidade, o mesmo pode ter influenciado no melhor desenvolvimento da espécie em relação ao presente trabalho, considerando que Souza (2020) destacou que o solo arenoso pode estar influenciando a qualidade de sítio na área deste mesmo estudo.

Já a média de incremento encontrado nesta pesquisa está acima do encontrado por De Paiva Salomão et al, (2014), de 0,96 cm, que avaliaram o crescimento da espécie após 30 anos de desenvolvimento em uma área de mineração, no estado do Pará. Provavelmente as condições

do solo fragilizado pela mineração influenciou em um menor incremento médio em relação a esta pesquisa. Considerando as classes de diâmetro, Araújo et al., (2020), obtiveram valores de incremento médio de 0,77 (amplitude 10-20), 0,97 (amplitude 20-30), 1,05 (amplitude 30-40) nas diferentes classes trabalhadas em árvores de *B. excelsa* em regeneração natural no estado do Acre; os valores encontrados foram menores do que obtidos nesta pesquisa. Araújo et al., (2020) avaliou o crescimento de árvores de castanheira em uma área de regeneração que não passou por nenhum tipo de tratamento silvicultural que pudesse auxiliar no desenvolvimento dessas árvores, provavelmente por esta razão o incremento médio encontrado nesta pesquisa, foi mais elevado. Além de avaliar o incremento médio, é importante analisar o padrão de crescimento das árvores plantadas, para auxiliar na tomada de decisão para otimizar o manejo da área.

Com base nas medições realizadas nos anéis de crescimento de cada árvore, foi gerado a curva de crescimento diametral acumulado (cm), sem casca, a fim de identificar a existência de um padrão de crescimento entre as árvores selecionadas. A curva representou o crescimento das árvores em função do número de anéis conforme a figura 3 A, B, C, D, E, F, onde as 5 classes diamétricas são representadas.

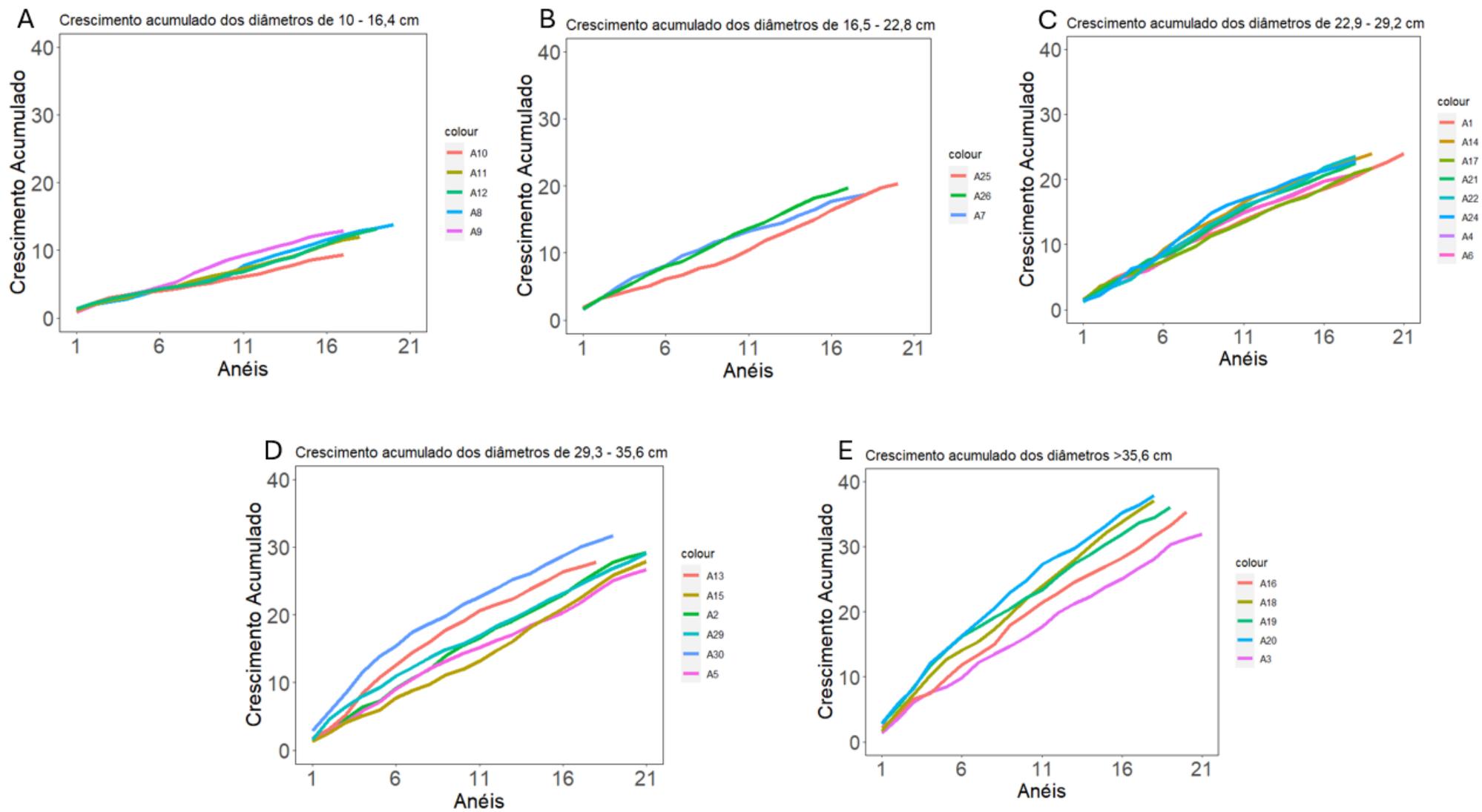


Figura 3. Crescimento diamétrico acumulado em função da quantidade de anéis

Houve uma variação considerável de crescimento entre as 5 classes estudadas. Como é possível observar, o padrão de crescimento das árvores da primeira classe apresentou uma maior variação no número de anéis, diferente do que se observa na classe 5. As árvores de maiores diâmetros, presentes na classe 5, possuem uma maior quantidade de anéis de crescimento, o que indica que estas árvores atingiram a altura de 1,30 (DAP) em idades iniciais, enquanto as árvores de menores diâmetros presente na classe 1, por exemplo, demoraram mais alguns anos para atingir essa mesma altura. Considerando que todas as árvores possuem a mesma idade é possível dizer que fatores externos, como índice de sítio, podem estar afetando a variação do padrão de crescimento dessas árvores, conforme já apresentado por Souza (2020), onde as árvores selecionadas com o objetivo de analisar o índice de sítio apresentaram um polimorfismo, indicando divergência no padrão de crescimento.

Ao realizar uma análise individual de cada classe foi possível constatar que as árvores da classe 1 apresentaram padrão de crescimento diferente das demais. Na primeira classe, o valor do incremento diamétrico foi abaixo de 1 cm, enquanto para as demais classes (3, 4 e 5) foram superiores a 1 cm, sendo o incremento na classe 2 próximo de 1 cm. Dessa forma, na presente área estudada foi observado uma diferença no padrão de crescimento das árvores *B.excelsa* Bonpl submetidas às mesmas condições de plantio, provavelmente este padrão diferente, está relacionado às práticas de manejo e a condição do sítio.

Apesar de estar abaixo de alguns resultados obtidos por outros autores em áreas de plantio, a média de crescimento da espécie apresentada neste trabalho juntamente com outros estudos já realizados sobre crescimento e respostas fisiológicas da *B. excelsa* Bonpl (Souza et al., 2008; Scoles et al., 2011; Ferreira et al., 2012; da Costa et al., 2022), indicam seu potencial para ser utilizada em plantios florestais e áreas de reflorestamento.

8.3 Incremento diamétrico e crescimento em altura, ICA e IMA.

Para obtenção da altura em diferentes idades, foi realizado o ajuste de um modelo logarítimo utilizando o DAP e a altura total das árvores coletadas em campo. Considerando a tabela abaixo e a figura 4, é possível notar que o resíduo está distribuído em torno de zero. Cerca de 79% da variação da variável dependente (altura) pode ser explicada pela variável independente (DAP), o que indica um bom ajuste do modelo, além disso a estatística F e o P-valor (Tabela 4) sugerem que o modelo seja estatisticamente significativo.

Tabela 4. Estatística dos dados obtidos do ajuste do modelo logarítimo.

R-quadrado	R ajustado	Pvalor
0,7909	0,7825	5.618 ⁻¹⁰

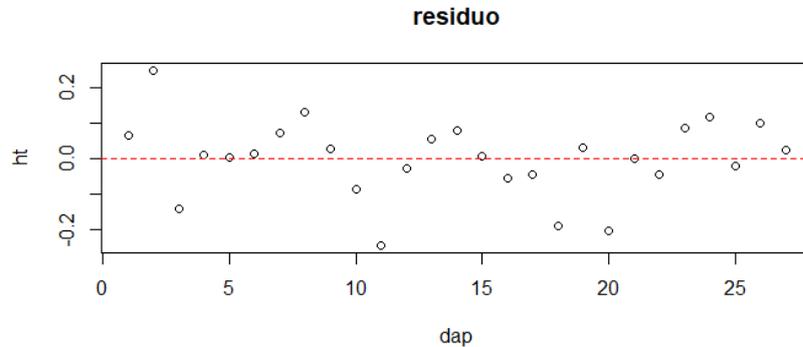


Figura 4. Gráfico de dispersão residual do modelo logarítimo ajustado.

O incremento diamétrico e em altura, das árvores do estudo estão apresentados na tabela 5. O diâmetro médio do DAP e altura média no ano de realização da coleta são de $24,07 \pm 0,13$ cm e $21,48 \pm 1,60$ m, respectivamente. Os valores são coerentes com o encontrado em outros trabalhos (tabela 5). No entanto é interessante observar na tabela 5 que outros autores obtiveram alturas próximas ao encontrado neste trabalho possuindo uma idade do plantio inferior, já no DAP Costa et al., (2009), encontraram valores bastante elevado quando comparado com este trabalho, um valor de 38,3 para plantas de *B. excelsa* Bonpl aos 12 anos de idade. É válido considerar a diferença de espaçamento, onde o espaçamento de Costa et al., (2009) era de 12x12m e deste estudo de 2,5x1,5m, e de acordo com Tonini et al., (2006), o espaçamento é um fator importante para a sobrevivência e crescimento das espécies florestais. No ano de 2012, o DAP médio na área do presente estudo era de cerca de 11,55 cm, um valor bem abaixo do valor encontrado por Costa et al., (2009), mas um valor aproximado ao encontrado por Souza et al., (2008), onde o espaçamento era mais parecido com o espaçamento inicial da presente pesquisa. O desbaste seletivo é indicado para favorecer o crescimento das árvores remanescentes, e é necessário que o desbaste vise a retirada das árvores menores e defeituosas (Scolforo et al. 1997). No entanto, na área estudada outros critérios foram abordados para realização do desbaste, o que pode ter comprometido o crescimento.

Tabela 5. : Comparação entre estudos feitos avaliando o crescimento de *B. excelsa* em diferentes condições.

Idade (anos)	E (m)	Ht (m)	DAP (cm)	IMAh (mm)	IMAd (mm)	Referência
23	2,5x1,5	21,48	24,07	1,15	0,86	Este trabalho
27	3x3	-	21,9	0,5	0,8	Machado et al., (2017)
12	12x12	20,9	38,3	1,7	3,2	Costa et al., (2009)
11	3x3	13,9	13,6	1,3	1,2	Souza et al., (2008)

E: Espaçamento. **Ht:** Altura total. **DAP:** Diâmetro a altura do peito. **IMAh:** Incremento médio anual da altura e **IMAd:** Incremento médio anual do diâmetro.

Para obtenção do volume não foi determinado um fator de forma específico, dessa forma para utilizar da equação tradicional (eq3) o fator de forma utilizado foi 0,7 (Locatelli et al., 2015). O resultado encontrado por árvore para o ano de coleta foi de: $0,84 \pm 0,24 \text{ m}^3$ (ic=95%), um valor relativamente baixo, se comparado ao trabalho realizado por Locatelli et al., (2015) de $3,89 \text{ m}^3$. Provavelmente o espaçamento e a idade das árvores influenciaram no maior volume encontrado por Locatelli et al., (2015). Na figura 5 é possível verificar que a curva de volume se encontra em ascendência sugerindo que o plantio ainda está em desenvolvimento e ainda não atingiu seu potencial máximo, que pode ser estimulado com a retirada das árvores de diâmetros inferiores.

$$\text{Equação 3: } V = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40000} \times Ht \times Ff$$

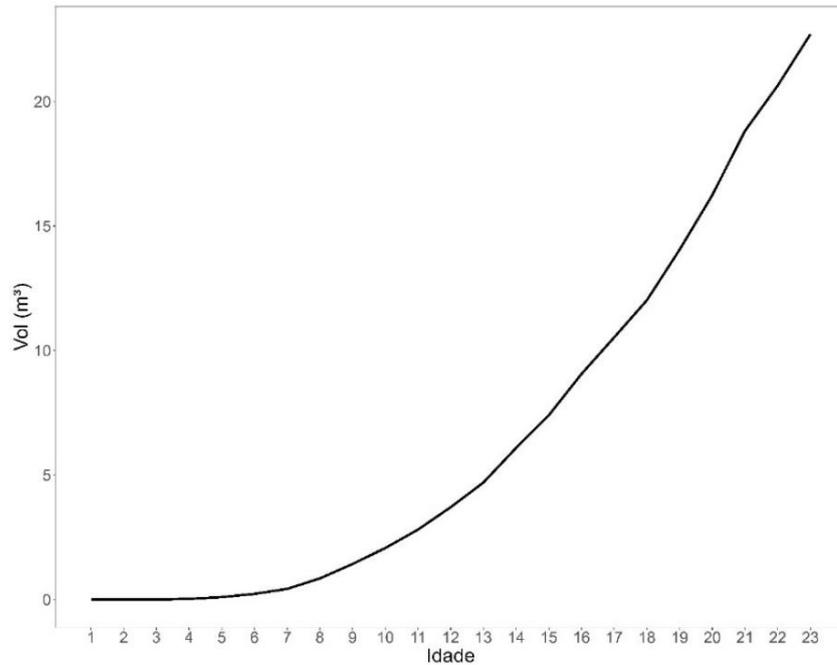


Figura 5. Curva do volume em função da idade em anos.

Na figura 6 observa-se que as menores classes diamétricas apresentam uma menor contribuição na volumetria, e possivelmente apresentam menores chances de crescimento por estarem suprimidas e com o crescimento comprometido, dessa forma é interessante realizar o desbaste para melhorar o padrão da floresta remanescente, e concentrar o potencial nas árvores de maiores classes diamétricas (Scolforo et al., 1997; Dias 2000).

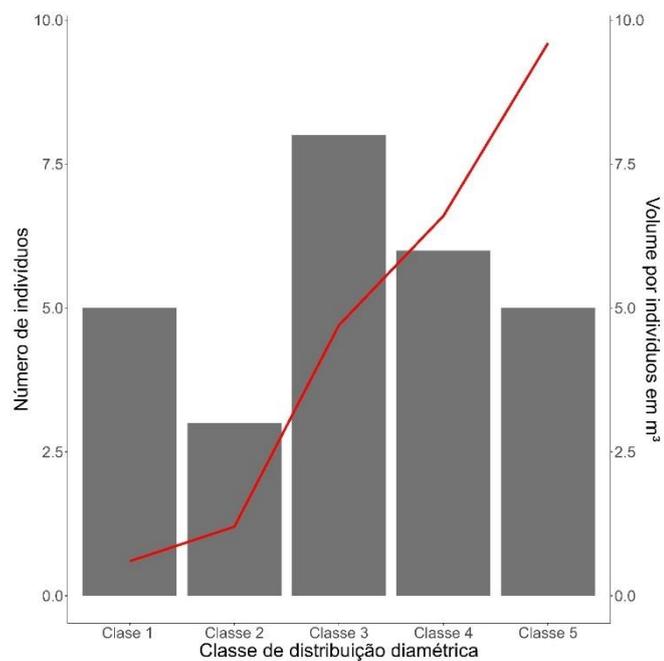


Figura 6. Relação entre as classes diamétricas, número de indivíduos por classe e volume em m³ por árvore, onde as barras representam os números de indivíduos por classe diamétrica e a linha vermelha representa o volume em m³.

Para determinar a capacidade produtiva do plantio em termos de volume, foi utilizado o modelo de Chapman-richards por ser considerado um modelo eficiente para classificação da capacidade produtiva, e por ter sido recomendado por Souza et al (2020), ao realizar um estudo na mesma área. O modelo foi ajustado conforme a equação 4. Por meio do ajuste foi estimado o volume para as árvores amostradas até a idade 50 (Figura 7).

$$\text{Equação 4: } Y = bo \times (1 - e(-b1 \times I))^{b2}$$

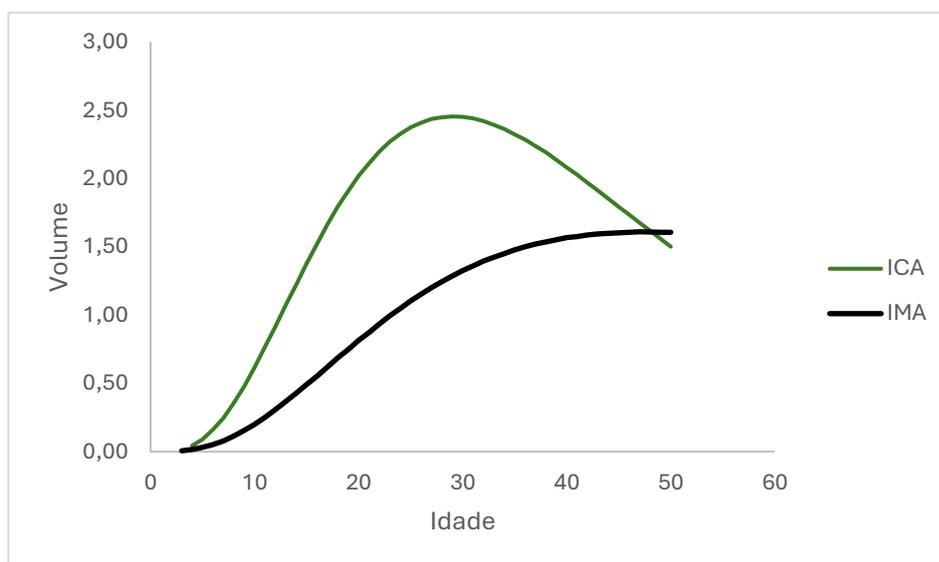


Figura 7. Curva de ICA e IMA, do volume em função da idade, por árvore. SQE= 0,44

A área estudada possui 23 anos e uma distribuição diamétrica que varia de cerca de 10cm a 50cm de DAP, conforme já apresentado. O diâmetro e altura das árvores são fatores importantes para definição da capacidade produtiva, que por sua vez é definida por condições do clima e condições edáficas (Davis, 1966; Clutter et al. 1983). No caso deste experimento os fatores que podem estar afetando a capacidade produtiva são a textura do solo e a topografia, conforme citado por Souza (2020). Além disso, as práticas de manejo podem ter influenciado no crescimento mais lento de algumas árvores. Durante os 23 anos, ocorreram pelo menos 3 desbastes, que não foram realizados prioritariamente para induzir o crescimento das árvores remanescentes, mas para retirada de madeira para determinados fins. A razão da curva de ICA e IMA do volume dessas árvores terem se encontrando por volta dos 50 anos pode estar relacionado ao fato de que houve também a retirada de árvores mais vigorosas nos desbastes anteriores, e as árvores selecionadas para esta análise representam de fato a distribuição diamétrica presente na área atualmente, e não apenas as árvores dominantes, além disso existe uma quantidade maior de árvores presentes na classe 3 (de 22,9 a 29,2 de DAP). O

acompanhamento desde o início do plantio e a obtenção de um maior conjunto de dados seria mais eficiente para determinar as curvas de ICA e IMA. É importante ressaltar que a espécie já foi citada por outros autores como uma espécie com potencial para ser utilizada em reflorestamento e recuperação de áreas (Souza et al., 2008; Scoles et al., 2011), e o presente estudo sugere que esta afirmativa está correta, no entanto, é muito importante se atentar às práticas de manejo e definir um ciclo de desbaste visando o incremento das árvores remanescentes.

9. Incremento diamétrico, razão isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, temperatura e precipitação.

Na tabela 6 tem-se a informação da quantidade de amostra por árvore que apresentaram boas correlações com a série máster do controle de qualidade do COFECHA.

Tabela 6. Árvores amostradas, correlação obtida pelo COFECHA e quantidade de amostra por árvore.

Identificação das árvores	Correlação (99% Conf)	Quantidade de amostra
A1	0,693	7
A2	0,749	11
A3	0,602	10
A4	0,572	7
A5	0,746	8
A6	0,649	7
A7	0,701	7
A8	0,739	7
A9	0,772	6
A11	0,645	7
A15	0,760	8
A16	0,572	8
A18	0,727	7
A25	0,581	8
A26	0,603	5

Considerando os valores apresentados na tabela 6, pode-se inferir que as árvores selecionadas para esta análise, mesmo possuindo diferentes tamanhos de DAP, sofreram influências semelhantes para o crescimento.

Os resultados obtidos da análise do $\delta^{13}\text{C}$ são apresentados na figura 8. Os dados plotados com uma regressão linear permitem a realização de uma análise visual, onde é possível

identificar um padrão decrescente nos valores de $\delta^{13}\text{C}$. Mc Carrol e Loander (2004) e Locasseli (2010) citaram a existência desse padrão, mas ao contrário do citado por eles, Francey (1981) não encontrou esse padrão decrescente na composição isotópica ao longo dos anos, provavelmente por se tratar de um plantio fechado. Nesta pesquisa por se tratar de um plantio com árvores da mesma idade, com o mesmo espaçamento inicial e da mesma espécie, não era esperado que houvesse uma diminuição dos valores, no entanto, vale ressaltar que a área possui uma distribuição diamétrica considerável, e que a mesma já passou por ciclos de desbastes, liberando espaço entre as copas, que pode ter influenciado na composição isotópica e no crescimento dos indivíduos. O padrão encontrado é considerado coerente e já foram encontrados em outros trabalhos em áreas de plantio (Silva, 2021).

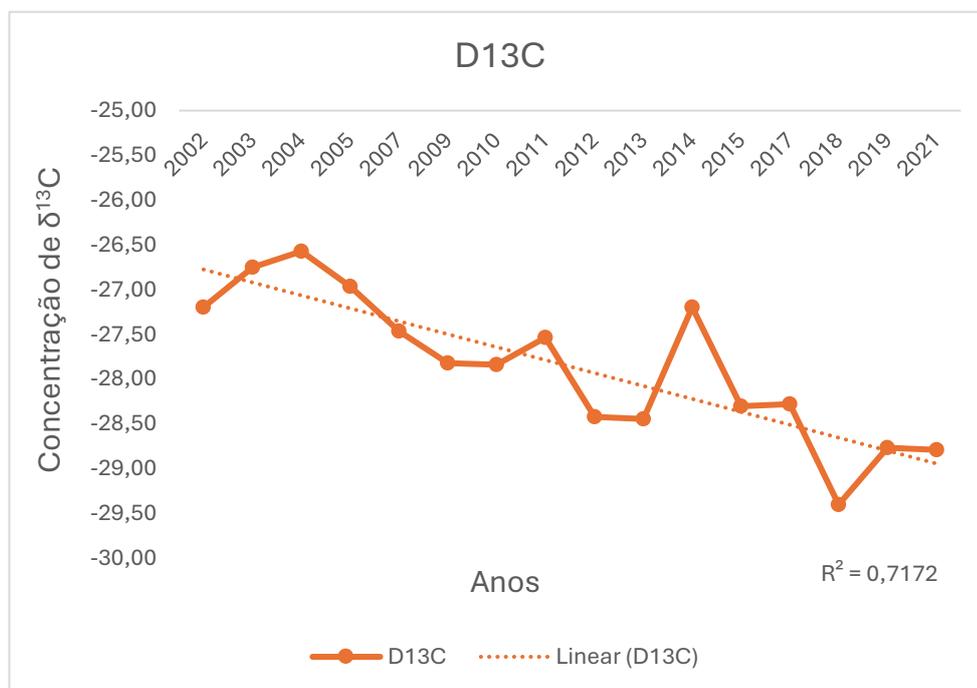


Figura 8. Concentração de $\delta^{13}\text{C}$ por ano. A linha tracejada indica a tendência linear dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ com o passar dos anos. $R^2 = 0,7172$.

Após a constatação de que os dados seguem a normalidade, estes foram correlacionados entre si. Para correlacionar as variáveis, foi utilizado a cronologia obtida no programa ARSTAN, composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ de cada anel anual, a precipitação anual e a temperatura média.

Na figura 9 é apresentada a correlação da precipitação e o crescimento das árvores. Já na figura 10 a matriz de correlação da precipitação, temperatura, crescimento e composição isotópica.

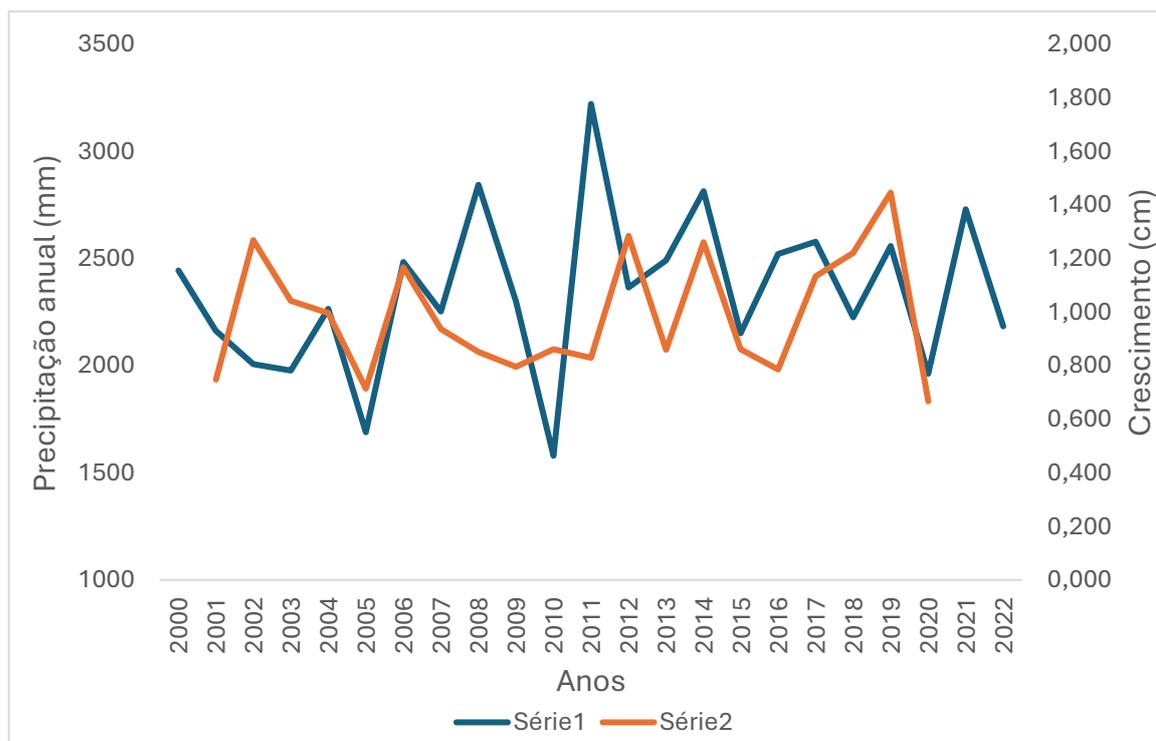


Figura 9. Correlação entre a precipitação anual (mm) e a cronologia do crescimento das árvores (cm) de *B.excelsa*. R:0,217 ao longo dos anos.

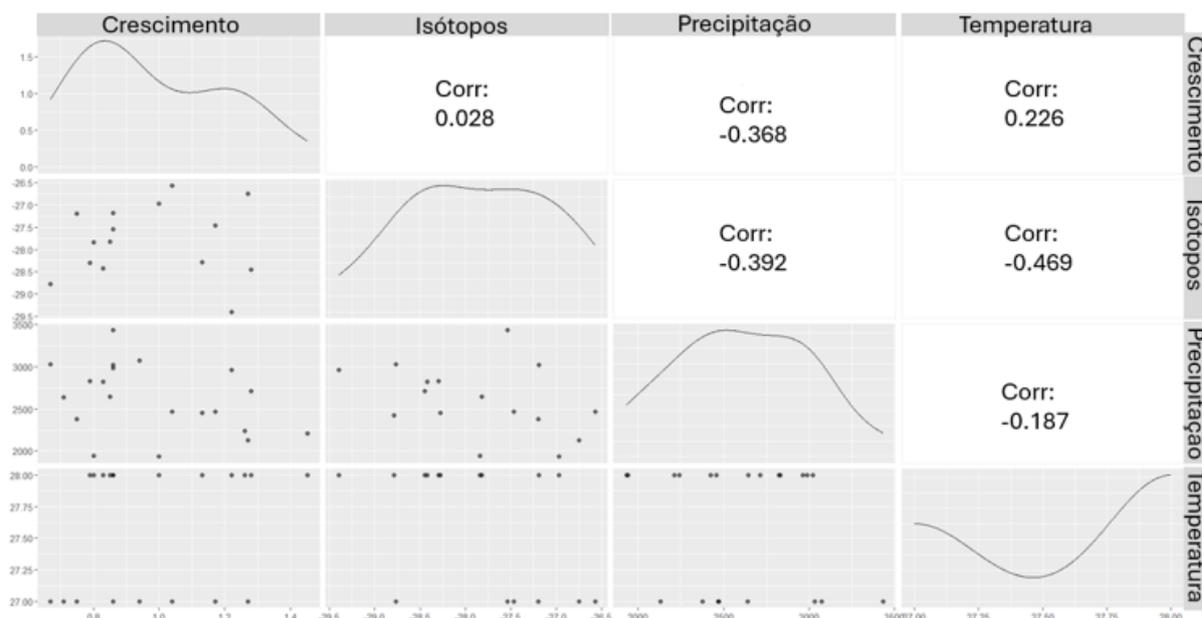


Figura 10. Matriz de correlação entre as variáveis de crescimento (cm), isótopos, precipitação anual (mm) e temperatura (°C).

Não foi verificado uma correlação significativa entre nenhuma das variáveis. Em busca de explorar melhor os dados e compreender os efeitos da precipitação e temperatura no crescimento e na composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, optou-se por correlacionar a precipitação mensal com o crescimento. Na tabela 7 é apresentado os valores de correlação de cada mês entre a cronologia de crescimento e os dados mensais de precipitação e temperatura, o mês de

março apresentou uma correlação negativa significativa a 95% de significância, indicando que este mês pode estar sendo um mês determinante no crescimento dessas árvores. Como mês de março apresenta uma elevada quantidade de chuva, a correlação sugere que o crescimento tenha diminuído neste período. Apesar de não ser esperado, essa relação inversa possivelmente pode ser explicada pela saturação hídrica do solo, que diminui a disponibilidade de oxigênio causando um estresse nas raízes alterando o metabolismo das células radiculares e influenciando na atividade cambial (Taiz e Zeiger, 2004; Batista et al., 2008). Na figura 11 é apresentado o gráfico de correlação da precipitação e temperatura mensal com a cronologia de crescimento.

Tabela 7. Correlação mensal entre a cronologia de crescimento e os dados mensais de precipitação ao nível de 95% de probabilidade.

Mês	Correlação Prec.	Correlação Temp.
Novembro	0,194	-0,074
Dezembro	0,277	-0,126
Janeiro	-0,013	0,261
Fevereiro	-0,388	0,350
Março	-0,450	0,198
Abril	0,437	-0,085
Mai	0,163	-0,021
Junho	0,345	0,230
Julho	-0,391	0,342
Agosto	-0,139	-0,039
Setembro	0,169	-0,171
Outubro	-0,073	0,111

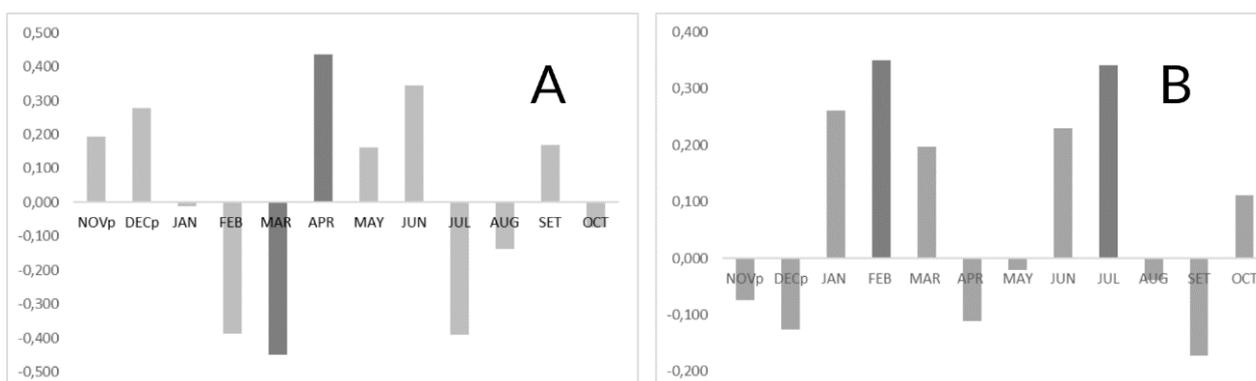


Figura 11. A: Correlação entre a precipitação mensal e a cronologia de crescimento. B: Correlação entre a temperatura e a cronologia de crescimento. Ao nível 95% de probabilidade.

Em relação ao crescimento, não é possível confirmar a influência da temperatura e da precipitação de forma separadas. Conforme apresentado na figura 11, o mês de fevereiro e março aparentemente, influenciaram negativamente no crescimento, a correlação linear inversa, sugere que quando uma variável aumenta a outra diminui, o que não era esperado neste caso. Considerando que estes meses passam por longos períodos chuvosos esperava-se que houvesse um maior crescimento, já que no período chuvoso as árvores no geral apresentam uma boa taxa de atividade cambial. No entanto, no mesmo gráfico é possível verificar que o mês de julho também apresentou este tipo de correlação linear inversa. Essa correlação era mais esperada, visto que este mês apresenta uma redução considerável na precipitação, o que poderia diminuir a atividade cambial. Um comportamento parecido é verificado no gráfico de correlação com a temperatura. A temperatura possui uma correlação linear positiva com o crescimento nos meses de janeiro, fevereiro, março, junho e julho, indicando que nestes meses com menor temperatura ocorreu também um menor crescimento, o que também não era esperado. Os dados sugerem que as variáveis ambientais separadas não foram capazes de determinar o crescimento dessas árvores. Além da temperatura e precipitação o crescimento de árvores depende também de espaço físico, condições edáficas, topográficas e constituição genética (Poorter e Bangers, 1993; Andrade, et al., 2007). O índice de sítio e os desbastes já ocorridos juntamente com os outros fatores citados possivelmente foram mais determinantes no crescimento do plantio analisado.

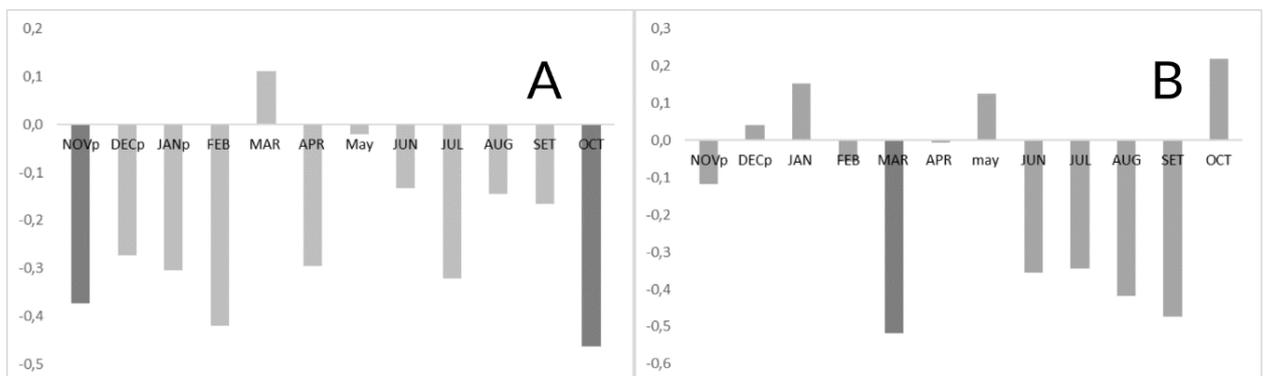


Figura 12. A= correlação precipitação mensal e $\delta^{13}C$. B= correlação temperatura mensal e de $\delta^{13}C$. 95% de confiança.

Em relação ao $\delta^{13}C$, a precipitação de praticamente todos os meses apresentou uma correlação linear inversa, (figura 12A) assim como a temperatura da maioria dos meses, (figura 12B) o que impede a conclusão de que estes fatores separados estão influenciando na discriminação isotópica. McCarroll e Loader (2004), citaram que os isótopos de carbono não

são influenciados por uma única variável. O fracionamento dos isótopos de carbono é um equilíbrio entre a condutância estomática e a taxa fotossintética, e onde as árvores praticamente não sofrem estresse hídrico, como é o caso da região estudada, a principal influência pode ser a taxa fotossintética que é preferencialmente controlada pela irradiância (McCarroll e Loader, 2004; Gagen et al., 2004). Provavelmente o nível de exposição da copa colaborou para a composição isotópica das árvores amostradas. Os dados desta pesquisa sugerem que a composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ podem estar sendo influenciadas pela taxa fotossintética que consequentemente está sendo controlada pela irradiância.

Assim como neste trabalho, Farrapo (2019) não observou correlações significativas entre os dados de cronologia da largura do anel e a composição isotópica. No entanto, analisando os sinais climáticos nos isótopos estáveis de carbono dos anéis de crescimento de *Cedrela odorata* L. da Amazônia Oriental, realizando uma análise intra-anual, em várias partes dos anéis de crescimento, o mesmo autor observou uma influência significativa tanto da temperatura média mensal quanto da precipitação total com a discriminação isotópica. Na presente pesquisa foi realizado análises em anéis anuais, com uma única amostra por anel, o que pode corroborar com as correlações não significativas. Da mesma forma que nesse estudo, McCarroll e Loader, 2004 tiveram dificuldade de encontrar correlações significativas entre essas variáveis, devido ao fato de que pode haver tendências nos sinais isotópicos que não estão relacionados apenas com o clima, mas com a fisiologia e características que são exclusivas de cada indivíduo. Além disso o fraco registro da temperatura e precipitação nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrada nesta pesquisa, pode estar relacionado ao fato de que durante o crescimento, as árvores podem armazenar suas reservas para serem utilizadas em outro momento, e quando esta reserva for mobilizada, provavelmente o sinal climático registrado será do período anterior a qual foi formado.

10. CONCLUSÃO

As árvores de *B. excelsa* Bonpl submetidas as mesmas condições de plantio apresentam diferentes padrões de crescimento. Observamos que o plantio estudado ainda não atingiu seu potencial máximo de produção. A sugestão é a realização de manejo na área visando o corte das árvores de diâmetros inferiores para favorecer o crescimento das árvores remanescentes.

O acompanhamento do crescimento em diâmetro e em altura desde o início da implementação do plantio torna-se mais eficiente para determinar as curvas de ICA e IMA, pois proporcionaria um maior conjunto de dados.

As variáveis ambientais de temperatura e precipitação, sem considerar outras variáveis

como índice de sítio, espaçamento, desbaste e material genético, não foram capazes de explicar o crescimento das árvores de *B. excelsa* Bonpl plantadas na área de estudo.

A composição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ apresenta um padrão decrescente na direção medula casca.

Não foram observadas fortes correlações entre temperatura, precipitação, $\delta^{13}\text{C}$ e crescimento nos anos da formação do anel de crescimento, sugerindo a possibilidade de correlação com anos anteriores ao da formação dos anéis de crescimento por causa da mobilização de reserva.

A espécie apresenta um bom desempenho para ser utilizada em áreas de reflorestamento, no entanto, observamos que é necessário o acompanhamento periódico desde o início para a elaboração de estratégias de manejo mais eficientes para a espécie

11. REFERÊNCIAS

Alemdag, I. S. (1991). National site-index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(10), 1466-1474.

Alencar, J. D. C., & Araujo, V. C. D. (1980). Comportamento de espécies florestais amazônicas quanto à luminosidade. *Acta amazonica*, 10, 435-444.

Alves, E. U., Cardoso, E. D. A., Bruno, R. D. L. A., Alves, A. U., Alves, A. U., Galindo, E. A., & Braga Junior, J. M. (2007). Superação da dormência em sementes de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. *Revista Árvore*, 31, 405-415.

Ampuero, A., Stríkis, N. M., Apaéstegui, J., Vuille, M., Novello, V. F., Espinoza, J. C., ... & Sifeddine, A. (2020). The forest effects on the isotopic composition of rainfall in the northwestern Amazon Basin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(4), e2019JD031445.

Apaéstegui, J., Cruz, FW, Vuille, M., Fohlmeister, J., Espinoza, JC, Sifeddine, A., ... & Edwards, RL (2018). Mudanças de precipitação sobre os Andes bolivianos orientais inferidas a partir de registros de espeleotemas ($\delta^{18}\text{O}$) nos últimos 1400 anos. *Earth and Planetary Science Letters*, 494, 124-134.

ARAÚJO, U. C. (2020). MESTRADO EM CIÊNCIA FLORESTAL. 2020

Artaxo, P., Dias, M. A. F. D. S., Nagy, L., Luizão, F. J., Cunha, H. B. D., Quesada, C. A., ... & Krusche, A. (2014). Perspectivas de pesquisas na relação entre clima e o funcionamento da floresta Amazônica. *Ciência e Cultura*, 66(3), 41-46.

Batista, C. U. N., Medri, M. E., Bianchini, E., Medri, C., & Pimenta, J. A. (2008). Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec.(Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. *Acta Botanica Brasilica*, 22, 91-98.

Botosso, P. C. (2009). Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento.

Bowen, G. J., & Good, S. P. (2015). Incorporating water isoscapes in hydrological and water resource investigations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(2), 107-119.

- Braga, P. I. S. (1979). Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. *Acta amazonica*, 9, 53-80.
- Brandelero, C., Antunes, M. U. F., & Giotto, E. (2007). Silvicultura de precisão: nova tecnologia para o desenvolvimento florestal Precision silviculture: new technology for the forestry development. *Ambiência*, 3(2), 269-281.
- Camargo, I. P., de Castro, E. M., & Gavilanes, M. L. (2000). Aspectos da anatomia e morfologia de amêndoas e plântulas de castanheira-do-brasil. *Cerne*, 6(2), 11-18.
- Chagas, M. P. (2009). Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Chagas, M. P. (2013). Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Cintra, B. B. L. Isótopos estáveis em estudos de Ecofisiologia Vegetal e Dendroclimatologia. *Laboratório de Fisiologia Vegetal*, 139.
- Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., & Bailey, R. L. (1983). *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley & Sons, Inc..
- Cordeiro, IMCC, Barros, PLCD, Lameira, OA, & Gazel Filho, AB (2015). Avaliação de plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby de diferentes cidades e sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará-PA (Brasil). *Ciência Florestal*, 25, 679-687.
- Costa, F. J. V., Sena-Souza, J. P., & Nardoto, G. B. (2019). Determinação da origem geográfica de vestígios utilizando isótopos estáveis: base científica e potencial de uso no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Policiais*, 10(1), 15-54.
- Costa, JR, Castro, ABC, Wandelli, EV, Coral, SCT, & Souza, SAGD (2009). Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 39, 843-850.

da Costa, K. C. P., de Carvalho Gonçalves, J. F., Gonçalves, A. L., da Rocha Nina Junior, A., Jaquetti, R. K., de Souza, V. F., ... & Rodrigues, M. O. (2022). Advances in Brazil nut tree ecophysiology: Linking abiotic factors to tree growth and fruit production. *Current Forestry Reports*, 8(1), 90-110.

Davis, K. P. (1966). Forest management: Regulation and valuation. *Forest management: regulation and valuation.*, (2nd ed.).

de Paiva Salomão, R., de Santana, A. C., Júnior, S. B., de Araújo Rosa, N., & Precinoto, R. S. (2014). Crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl.(castanheira) na Amazônia trinta anos após a mineração de bauxita. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 9(2), 307-320.

de Souza, C. R., de Lima, R. M. B., de Azevedo, C. P., & Rossi, L. M. B. (2008). Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia.

de Souza, M. N. (2016). Volumetria e qualidade da madeira de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em plantios na Amazônia Central.

Dormontt, E. E., Boner, M., Braun, B., Breulmann, G., Degen, B., Espinoza, E., ... & Lowe, A. J. (2015). Forensic timber identification: It's time to integrate disciplines to combat illegal logging. *Biological Conservation*, 191, 790-798.

Dubois, J.L.C. 1970. Silvicultural Research in the Amazon. Report to the Government of Brazil. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FO:SF/BRA 4, Technical Report 3. Rome. 126 p. + appendix.

Durgante, FM (2016). Crescimento e incremento de espécies arbóreas dominantes na Amazônia Central.

Faberi, A., Compagnone, D., Fuselli, F., La Mantia, A., Mascini, M., Montesano, C., ... & Sergi, M. (2018). Italian cheeses discrimination by means of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopic ratio mass spectrometry. *Food analytical methods*, 11(5), 1467-1475.

Farquhar, G. D., O'Leary, M. H., & Berry, J. A. (1982). On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Functional Plant Biology*, 9(2), 121-137.

Fearnside, P.M. 1997. Serviços ambientais como estratégia para o desenvolvimento sustentável na Amazônia rural. p. 314-344 In: C. Cavalcanti (ed.) *Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas*. Editora Cortez, São Paulo, SP.. 436 p.

Fernandes, NP, & Alencar, JDC (1993). DESENVOLVIMENTO DE ÁRVORES NATIVAS EM ENSAIOS DE ESPÉCIES. 4. CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* H. BK), DEZ ANOS APÓS O PLANTIO. *Acta Amazonica*, 23, 191-198.

Ferreira, L. M. M., & Tonini, H. (2009). Comportamento da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e da cupiúba (*Goupia glabra*) em sistema agrosilvicultural na região da Confiança, Cantá-Roraima. *Acta Amazonica*, 39, 835-841.

Ferreira, M. J., Gonçalves, J. F. D. C., & Ferraz, J. B. S. (2012). Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação. *Ciência Florestal*, 22, 393-401.

Ferrero, M. E., Villalba, R., & Rivera, S. M. (2014). An assessment of growth ring identification in subtropical forests from northwestern Argentina. *Dendrochronologia*, 32(2), 113-119.

Fichtler, E., Helle, G., & Worbes, M. (2010). Stable-carbon isotope time series from tropical tree rings indicate a precipitation signal. *Tree-ring research*, 66(1), 35-49.

Figueiredo, A., Retslaff, F. D. S., Retslaff, F. D. S., Longhi-Santos, T., & Stepka, T. F. (2017). Crescimento e idade de espécies nativas regenerantes sob plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. *Floresta e Ambiente*, 24.

Francey, R. J., & Farquhar, G. D. (1982). An explanation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in tree rings. *Nature*, 297(5861), 28-31.

Fritts, H. C. (1971). Dendroclimatology and dendroecology. *Quaternary Research*, 1(4), 419-449.

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

Gagen, M., McCarroll, D., & Edouard, J. L. (2004). The effect of site conditions on pine tree ring width, density and $\delta^{13}\text{C}$ series. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36(2), 166-171.

Gartner, B. L., Aloni, R., Funada, R., Lichtfuss-Gautier, A. N., & Roig, F. A. (2002). Clues for

dendrochronology from studies of wood structure and function. *Dendrochronologia*, 20(1-2), 53-61.

Gori, Y. U. R. I., Wehrens, R., Greule, M., Keppler, F., Ziller, L., La Porta, N., & Camin, F. (2013). Carbon, hydrogen and oxygen stable isotope ratios of whole wood, cellulose and lignin methoxyl groups of *Picea abies* as climate proxies. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 27(1), 265-275.

Gori, Y., Stradiotti, A., & Camin, F. (2018). Isopaisagens de madeira. Um estudo de caso em uma área de montanha nos Alpes italianos. *PLoS One*, 13 (2), e0192970.

Guimarães, Z. T. M., Dos Santos, V. A. H. F., Nogueira, W. L. P., de Almeida Martins, N. O., & Ferreira, M. J. (2018). Leaf traits explaining the growth of tree species planted in a Central Amazonian disturbed area. *Forest Ecology and Management*, 430, 618-628.

Gulbranson, EL, & Ryberg, PE (2013). Abordagens paleobotânicas e geoquímicas para estudar anéis de árvores fósseis: interpretações quantitativas de paleoambiente e ecofisiologia. *Palaios*, 28 (3), 137-140.

Held, C., Meier-Landsberg, E. & Alonso, V. 2021. Tropical timber 2050: an analysis of the future supply of and demand for tropical timber and its contributions to a sustainable economy. ITTO Technical Series No. 49. International Tropical Timber Organization (ITTO), Yokohama, Japan.

Helle, G., & Schleser, G. H. (2004). Beyond CO₂-fixation by Rubisco—an interpretation of ¹³C/¹²C variations in tree rings from novel intra-seasonal studies on broad-leaf trees. *Plant, Cell & Environment*, 27(3), 367-380.

Higuchi, N. O desmatamento insustentável na Amazônia. *Ciência Hoje*. v. 39, p. 67-71, Ed. Novembro – 2006.

Hoch, L., Pokorny, B., & De Jong, W. (2009). How successful is tree growing for smallholders in the Amazon?. *International Forestry Review*, 11(3), 299-310.

Holmes, R. L., Adams, R. K., & Fritts, H. C. (1986). Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin with procedures used in the chronology development work including users manuals for computer programs COFECHA and

ARSTAN.

Horacek, M., Jakusch, M., & Krehan, H. (2009). Controle de origem da madeira de larício: discriminação entre origem européia (austríaca) e siberiana por análise de isótopos estáveis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry: An International Journal Devoted to the Rapid Dissemination of Up-to-the-Minute Research in Mass Spectrometry*, 23 (23), 3688-3692.

Hughes, M. K. (2002). Dendrochronology in climatology—the state of the art. *Dendrochronologia*, 20(1-2), 95-116.

IAWA COMMITTEE IAWA List of microscopic features for hardwood identification by an IAWA committee. WHEELER, E.A. P. BAAS ; GASSON, P.E. (Ed.). IAWA Bulletin. Leinden. v.10, p.219-332, 1989.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Cenários Ibá, 2023. Disponível em :<<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>>. Acesso em set/2023

IBGE. 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. IBGE. Rio de Janeiro. 271 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS-IBAMA. Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae, II. Gimnospermae. LPF - Série Técnica n o 15. Brasília, IBAMA, 1992.

IPEA.O que é? Amazônia Legal. Revista Desafios do Desenvolvimento. Ano 5. Edição 44-08/06/2008 Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2154:catid=28&Itemid#:~:text=Amaz%C3%B4nia%20Legal&text=A%20Amaz%C3%B4nia%20Legal%20%C3%A9%20uma,5%20mil%C3%B5es%20de%20km%C2%B2 .> Acesso: 21/11/2022.

ITTO. 2014. Bienal Review and Assessment of the world timber situation 2013-2014. International Tropical Timber Organization, Yokowama, Japão. 226p.

Junk, W. J. (1993). Wetlands of tropical south America. In *Wetlands of the world: Inventory, ecology and management Volume I* (pp. 679-739). Springer, Dordrecht.

Kagawa, A., Sano, M., Nakatsuka, T., Ikeda, T., & Kubo, S. (2015). Um método otimizado

para análise de isótopos estáveis de anéis de árvores pela extração de celulose diretamente de ripas de seção transversal. *Chemical Geology*, 393, 16-25.

Konhauser, K. O., Fyfe, W. S., & Kronberg, B. I. (1994). Multi-element chemistry of some Amazonian waters and soils. *Chemical geology*, 111(1-4), 155-175.

Lee, S., Park, B. S., Lee, D., Chung, H., & Lee, K. S. (2015). Spatial variability in hydrogen and oxygen isotopic composition of Korean Red Pine and its implication for tracing wood origin. *Environmental Earth Sciences*, 73(12), 8045-8052.

Locatelli, M., Marcante, P. H., Cipriani, H., Martins, E., & Vieira, A. (2015). AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DA CASTANHA-DO-BRASIL (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) EM UM PLANTIO NO MUNICÍPIO DE MACHADINHO DO OESTE–RONDÔNIA. *Enciclopédia Biosfera*, 11(22).

Lorenzi, H. (1992). Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.

Loureiro, A. A., Freitas, J. A. D., Freitas, C. A. A. D., & Freitas, C. A. A. D. (1997). ESSÊNCIAS MADEIREIRAS DA AMAZÔNIA VOL. III. Manaus-AM.

Loureiro, A. A., Freitas, J. A. D., Ramos, K. B. L., & Freitas, C. A. A. D. (2000). Essências Madeireiras da Amazônia Vol. 4.

Machado, M. R., de Souza, R. C., & Sampaio, P. D. T. B. (2017). Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.). *Biota Amazônia* (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota), 7(3), 41-44.

Martinelli, L. A., Ometto, J. P. H. B., de Barros Ferraz, E. S., Victoria, R. L., de Camargo, P. B., & Moreira, M. Z. *Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis*. 2018. Reimpressão. São Paulo. Oficina de Textos. 2009.

McCarroll, D., & Loader, N. J. (2004). Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 23(7-8), 771-801.

Munhoz, J. S. B. (2011). Caracterização da produtividade florestal e dos padrões de crescimento de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil através de análise de tronco. *Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz*.

- Oliveira, A. N. D., & Amaral, I. L. D. (2004). Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 34, 21-34.
- Oliveira-neto, S. N. (2002). Comportamento de paricá (*Schizolobium amazonicum* Ducke) em sistema agroflorestal com pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) na Região Amazônica. In *Congresso Brasileiro De Sistemas Agroflorestais* (Vol. 4).
- Orellana, B. B. M., do Vale, A. T., GONÇALVEZ, J., Guedes, M. C., Orellana, J. B. P., & Lima, C. M. (2018). Produtividade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* por classe diamétrica em plantios experimentais na Amazônia.
- Palermo, G. P. D. M., Latorraca, J. V. D. F., & Abreu, H. D. S. (2002). Métodos e técnicas de diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais. *Floresta e Ambiente*, 9(único), 165-175.
- Pires, J., & Prance, G. (1985). The vegetation types of the Brazilian Amazon.
- Pitt, J. (1961). Application of silvicultural methods to some of the forests of the Amazon: report to the Government of Brazil (No. 1337). Report.
- Poussart, P. F., Evans, M. N., & Schrag, D. P. (2004). Resolving seasonality in tropical trees: multi-decade, high-resolution oxygen and carbon isotope records from Indonesia and Thailand. *Earth and Planetary Science Letters*, 218(3-4), 301-316.
- Ramesh, R., Boragaonkar, H., Band, S., & Yadava, M. G. (2017). Proxy climatic records of past monsoons. *Observed Climate Variability and Change over the Indian Region*, 271-284.
- Ribeiro, C. A. A. S. (2002). Floresta de precisão. *MACHADO, CC Colheita Florestal. Viçosa*.
- Ribeiro, J. E. L da S.; Hopkins, M. J. G.; Vicentini, A.; Sothers, C. A.; Costa, M. A. da S.; Brito, J. M. de; Souza, M. A. D. de; Martins, L. H. P.; Lohmann, L. G.; Assunção, P. A. C. L.; Pereira, E. da C. Silva, C. F. da; Mesquita, M. R.; Procópio, L. C. 1999. Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra- firme na Amazônia Central. Manaus: INPA. p. 816.
- Sabbag, S. C. (2011). Reposição florestal: caminho para o desenvolvimento sustentável da silvicultura tropical.

- Sabogal, C. (2006). *Silvicultura na Amazônia Brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas*. CIFOR.
- Salomão, R. D. P. (2014). *A castanheira: história natural e importância socioeconômica*.
- Salomão, R. D. P., ROSA, N. A., NEPSTAD, D. C., & BAKK, A. (1995). Estrutura diamétrica e breve caracterização ecológica-econômica de 108 espécies arbóreas da floresta amazônica brasileira. *Interciencia*, 20(1), 20-9.
- Saurer, M., Schweingruber, F., Vaganov, E. A., Shiyatov, S. G., & Siegwolf, R. (2002). Spatial and temporal oxygen isotope trends at the northern tree-line in Eurasia. *Geophysical Research Letters*, 29(9), 7-1.
- Schöngart, J., Gribel, R., Ferreira da Fonseca-Junior, S., & Haugaasen, T. (2015). Age and growth patterns of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. *Biotropica*, 47(5), 550-558.
- Schons, C. T., Ciarnoschi, L. D., Schmitz, R., & da Silva, S. A. (2018). Dendrocronologia: princípios e aplicações. *Anais da II Semana de Aperfeiçoamento em Engenharia Florestal da UFPR. Curitiba: CIFLOMA, capítulo, 5, 12.*
- Scoles, R., Gribel, R., & Klein, G. N. (2011). Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 6(3), 273-293.
- Sena-Souza, J. P., Costa, F. J. V., & Nardoto, G. B. (2019). Background and the use of isoscapes in the Brazilian context: essential tool for isotope data interpretation and natural resource management. *Revista Ambiente & Água*, 14.
- Sheppard, P. R. (2010). Dendroclimatology: extracting climate from trees. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(3), 343-352.
- Shi, F., Rao, Z., Li, Y., Cao, J., Shi, X., Li, C., & Sun, W. (2019). Precipitation $\delta^{18}\text{O}$ recorded by the α -cellulose $\delta^{18}\text{O}$ of plant residues in surface soils: Evidence from a broad environmental gradient in inland China. *Global Biogeochemical Cycles*, 33(11), 1440-1468.
- SHIBUYA, E. K. (2005). Rastreamento da origem geográfica de amostras de maconha apreendidas nas ruas de São Paulo, por meio de assinaturas químicas.

Silva, J. A. D. (2021). Análise dos isótopos estáveis na caracterização e rastreabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*

Souza, A. S. D. (2020). Compreendendo os efeitos de características topoedáficas sobre a produtividade do sítio em plantios de *Bertholletia excelsa* Bonpl. no Amazonas.

Souza, C. S. D. C. R. D., Santos, V. A. H. F. D., Ferreira, M. J., & Gonçalves, J. F. D. C. (2017). Biomassa, crescimento e respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* bonpl. submetidas a diferentes níveis de irradiância. *Ciência Florestal*, 27, 557-569.

Souza, M. H. (2002). *Substituição da madeira de castanheira Bertholletia excelsa Humb. & Bonpl* (No. AV 634.97 no. 21). Ministério do Meio Ambiente, Brasília (Brasil). Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Programa Nacional de Florestas Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília (Brasil).

Stuiver, M., & Braziunas, T. F. (1987). Tree cellulose $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios and climatic change. *Nature*, 328(6125), 58-60.

TAIZ, L.; ZEIGER, F. *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TCA (Tratado de Cooperação Amazônica). Amazonia Without Miths. Comission on Development and Environment for Amazônia. Quito - Equador, p. 99, 1992.

Tomazello Filho, M., Botosso, P. C., & Lisi, C. S. (2001). Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. São Paulo: Educ, 117-143.

Tonini, H., Arco-Verde, M. F., & Sá, S. P. P. D. (2005). Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima: andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellaneda* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). *Acta Amazonica*, 35, 353-362.

Tonini, H., Oliveira Junior, M. M. C. D., & Schwengber, D. (2008). Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no estado de Roraima. *Ciência Florestal*, 18, 151-158.

Trevizor, T. T. (2011). Anatomia comparada do lenho de 64 espécies arbóreas de ocorrência

natural na floresta tropical amazônica no estado do Pará (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Uchida, T., & Campos, M. A. (2000). Influência do sombreamento no crescimento de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.-Fabaceae), cultivadas em viveiro. *Acta amazonica*, 30, 107-107.

Uehara, T. H. K., Villela, M., Betiol, L. S., Prado, O., Gomes, M. V., & Reis, C. P. (2011). *Poder público e consumo de madeira: desafios e alternativas para a gestão responsável da madeira amazônica*. Programa Gestão Pública e Cidadania, FGV.

Valois, A. C. C. (2003). Benefícios e estratégias de utilização sustentável da Amazônia. *Área de Informação da Sede-Texto para Discussão (ALICE)*.

Vendruscolo, D. G. S., Drescher, R., de Pádua Chaves, S., Medeiros, R. A., & da Silva, R. S. (2018). Acurácia da análise de tronco para obtenção da altura de árvores de *Tectona grandis*. *Advances in Forestry Science*, 5(2), 345-350.

Veríssimo, A; Pereira, D. Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades. *Parcerias Estratégicas*, v. 19, n. 38, p. 13-44, 2015.

Vettorazzi, C. A., & Ferraz, S. F. D. B. (2000). Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. *Borém A, Giúdice MP, Queiroz DM. Agricultura de precisão. Viçosa: Editora UFV.*

Yared, J. A. G., Kanashiro, M., Viana, L. M., de CASTRO, T. C. A., & Pantoja, J. D. S. (1993). Comportamento silvicultural de castanheira (*Bertholletia excelsa* H. & K.), em diversos locais na Amazônia. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. Anais... Curitiba: SBS: SBEF, 1993

Zenid, G. J., & Ceccantini, G. C. (2007). Identificação macroscópica de madeiras. *São Paulo: IPT.*