

LETÍCIA BENITES ALBANO

**ASSINATURA ISOTÓPICA DA MADEIRA DA ESPÉCIE *Eucalyptus grandis*
CULTIVADOS EM MESMO SÍTIO COM DIFERENTES PROCEDÊNCIAS**

Botucatu

2022

LETÍCIA BENITES ALBANO

**ASSINATURA ISOTÓPICA DA MADEIRA DO GÊNERO *Eucalyptus grandis*
CULTIVADOS EM MESMO SÍTIO COM DIFERENTES PROCEDÊNCIAS**

Dissertação de Mestrado à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para
Obtenção do Título em Agronomia - Energia na
Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa.

Botucatu

2022

A326a

Albano, Letícia Benites

Assinatura isotópica da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivados em mesmo sítio com diferentes procedências / Letícia Benites Albano. -- Botucatu, 2022

70 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Vladimir Eliodoro Costa

1. Procedência de árvore. 2. Rastreabilidade da madeira. 3. Certificação florestal. 4. Florestas plantadas. 5. Anatomia da madeira. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ASSINATURA ISOTÓPICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus spp.* CULTIVADOS EM MESMO SÍTIO COM DIFERENTES PROCEDÊNCIAS

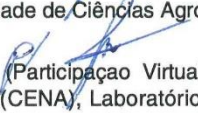
AUTORA: LETÍCIA BENITES ALBANO

ORIENTADOR: VLADIMIR ELIODORO COSTA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. VLADIMIR ELIODORO COSTA (Participação Virtual)
Depto de Biofísica e Farmacologia / IB/Unesp Botucatu


Prof. Dr. SAULO PHILIFE SEBASTIÃO GUERRA (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. PLÍNIO BARBOSA DE CAMARGO (Participação Virtual)
Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Laboratório de Ecologia Isotópica / Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba

Botucatu, 28 de janeiro de 2022

*Amados pais; Wilson Albano e Tânia Balta Benites Albano,
por acreditarem, me apoiarem, sonharem o meu sonho e me
incentivarem, de todo coração, vos dedico!*

AGRADECIMENTOS

Ser grato é a virtude de reconhecer que para obter nossas conquistas, precisamos receber ajuda de pessoas especiais em seu próprio caminho, que se esforçam para conseguir proporcionar o auxílio do qual precisamos. Por isso; sou grata de coração totalmente glorificado a cada um de vocês:

Ao meu pai, por me motivar a estudar e buscar o conhecimento sempre de maneira infinita e por nunca medir esforços para me apoiar na carreira acadêmica, por acreditar em mim de maneira tão esplendida, acreditando mais do que eu mesma. Por sempre me mostrar o quanto é possível quando nos esforçamos. Por me fazer sentir o amor que eu precisava para continuar lendo cada palavra e digitando cada sílaba. Obrigada, pai!

Ao Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa, pela orientação, confiança, conhecimento, conselhos, complacência e por me ensinar o quanto é preciso persistir para chegarmos onde almejamos.

A todos os membros do Centro de Isótopos Estáveis, por todos os auxílios, ensinamentos, e prontidão em auxiliar durante essa jornada do meu mestrado, em especial; a Cibele de Souza Kruliski, Juliana Denadai, Nádia Carvalho, e Evandro Tadeu Silva.

Aos professores da FCA que agregaram no meu trajeto, especialmente ao Prof. Dr. Saulo Guerra, por me fornecer o local de estudo deste trabalho, por me apoiar e incentivar desde o princípio, somando conhecimentos e ensinamentos valiosos nesses anos.

Ao Prof. Dr. Humberto de Jesus Eufrade-Junior, pelas sugestões e correções tão detalhadas e elaboradas com o meu trabalho, e também; pelo carinho com a presente dissertação.

Ao Prof. Dr. Anderson Sartori, que me orientou desde a graduação e me incentivou a seguir a área acadêmica, confiando em mim e me dando o apoio que precisava para o processo seletivo da FCA-UNESP.

Ao Prof. Dr. Rafael Rodrigues, que mesmo há distancia, sempre me ajudou e motivou, e sempre se dispôs a me auxiliar nessa jornada.

Aos amigos que conheci durante esses dois maravilhosos anos, que sempre me incentivaram, me ajudaram, me apoiaram incondicionalmente, especialmente ao Leonardo França, Tatiane Cristovam, Jéssica Silva e Orisson Gomes. Sem vocês,

meu trajeto com toda certeza, seria mais árduo. Obrigada por sempre serem tão solícitos e por sempre e constantemente, me incentivarem a continuar independente das dificuldades que enfrentei.

Por me ajudar a ver a importância do conhecimento acadêmico na minha própria vida, por me aconselhar e estimular meus passos, e ainda; por sempre me auxiliar a conseguir enxergar a formosura, grandiosidade e benevolência nos momentos mais ímprobos, desgastantes e tensos desse percurso todo e em todas as áreas da minha vida, obrigada minha grande amiga; Lílian Limão.

Ao meu irmão, Leonardo Albano, por me mostrar e ensinar que erros são essenciais para aprendermos efetivamente.

Ao meu irmão de coração, André Serico, que sempre me apoiou, me incentivou, acreditou em mim nos meus dias mais duvidosos. Obrigada, irmão!

Ao coach Estêvão Baptista, por me ensinar princípios tão importantes da vida, como a resiliência, a força de vontade, sinceridade, respeito, disciplina, dedicação, e que a vontade está acima de qualquer grande habilidade. São valores esses, que influenciaram na conduta da minha vida pessoal e profissional. Com certeza me tornei um ser humano melhor depois que me ensinou tamanhas virtudes.

À Deus, por me conceder essa oportunidade tão engrandecedora de realizar o mestrado e me capacitar para tal.

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), por me conceder a honra de participar do curso de pós-graduação.

Sou grata pela bolsa de estudos que me foi proporcionada nesse período.

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

Por fim, minha gratidão incalculável, sempre será dedicada à minha mãe, por nunca me permitir desistir nas dificuldades, por ser minha força em momentos que descreditei que conseguiria, pelos detalhes mais simples de cada palavra que me dedicou, sempre me motivando e me inspirando a seguir firme e forte, e por me ensinar a imponência de se apaixonar por estudos e o valor do conhecimento. Por ser a luz e a essência tão angelical que me fortificou e guiou até aqui, muito obrigada; mãe!

Gratidão a cada um de vocês, saibam que todos impactaram e continuam impactando minha vida da melhor maneira possível!

“Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas”.

EXUPÉRY-SAINT, A. **O Pequeno Príncipe**. Tradução de Isolina Bresolin Vianna. 1 ed. São Paulo: Via Leitura, ed. 1, 2015, p. 74.

RESUMO

Nos últimos anos, o crescimento da área total florestal plantada despertou a necessidade do uso de métodos analíticos capazes de determinar a origem geográfica da madeira para sua certificação de boas práticas. Neste cenário, análise isotópica apresenta-se como uma importante alternativa metodológica. No entanto, a amostragem e os fatores que possam influenciar na análise isotópica da madeira de árvores de mesmo sítio ainda não foram bem definidos. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo analisar possíveis diferenças na assinatura isotópica da madeira *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, considerando a metodologia de amostragem na direção radial, a classe de diâmetro das árvores, os tecidos de um incremento amostral e também nas diferentes procedências de *Eucalyptus grandis* cultivados em mesmo sítio. Os resultados dos valores isotópicos de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ mostraram que a amostragem de madeira independe da escolha da direção amostral radial e que há uma semelhança nos valores médios dos tecidos próximos ao cerne e alborno para todas as classes de diâmetro (pequena, média e grande). Contudo, os valores isotópicos mais enriquecidos, se encontram próximos a casca e medula para $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{13}\text{C}$, e valores mais empobrecidos, para $\delta^{18}\text{O}$. Também foi observado que a procedência de *Eucalyptus grandis* não influenciou nos valores médios para os três isótopos analisados (^2H , ^{13}C e ^{18}O). Assim, foi concluído que a direção amostral para retirada de incremento de amostra ao longo do raio da árvore não interferiu nos valores isotópicos médios de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ da madeira. Foi concluído também que as árvores de classe diametral média de um talhão de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* melhor representam os valores isotópicos médios de $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{13}\text{C}$, e também se concluiu que o $\delta^{18}\text{O}$ não é influenciado pelo diâmetro. Por fim, outro aspecto concluído, foi que os valores isotópicos de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ da madeira não dependem da procedência da espécie quando cultivada em mesmo sítio.

Palavras-chave: procedência de árvore; rastreabilidade da madeira; certificação; florestas plantadas; anatomia da madeira.

ABSTRACT

Considering the growth of the total planted forest area in recent years, mainly of the genus *Eucalyptus*, there is a need for analytical methods capable of determining the geographical origin of wood for its certification of good practices. The isotopic analysis presents itself in this scenario as an important alternative for this methodology. However, the sampling and the factors that may influence the isotopic analysis of wood from trees from the same site are still not well defined. In this context, the objective of this work was to analyze if there are differences in the isotopic signature in the wood of *Eucalyptus grandis* \times *urophylla*, considering the sampling methodology in the radial direction, the diameter class of trees and also in the different provenances of *E. grandis* cultivated in the same site. The results of the isotopic values of $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ showed that wood sampling is independent of the choice of radial sampling direction and that there is a similarity in the mean values of heartwood and sapwood for all diameter classes (small, medium and large). However, the greatest variations in isotopic values are found close to the shell and pith for $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{13}\text{C}$, and smaller for $\delta^{18}\text{O}$. It was also observed that the origin does not influence the values for the three isotopes analyzed (^2H , ^{13}C and ^{18}O). Thus, it was concluded that the sampling direction for taking a sample increment along the tree radius does not interfere with the isotopic values $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of wood. It was also concluded that trees with the average diameter of a stand of *E. grandis* \times *urophylla* better represent the average isotopic values of $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{13}\text{C}$, and that, for the average isotopic value of $\delta^{18}\text{O}$, the diameter of the trees does not influence. Finally, another concluded aspect is that the isotopic values of $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of the wood do not depend on the origin of the species when cultivated in the same site.

Keywords: Tree provenances; wood traceability; certification; planted forests; wood anatomy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura anatômica das árvores.....	36
Figura 2 – Croqui da área de estudo	44
Figura 3 – Amostragem do incremento na árvore pela sonda Pressler e incrementos divididos em 5 pontos de tecidos amostrais (casca, alburno, cerne/alburno, cerne e medula)	46
Figura 4 – Variação isotópica ao longo da direção radial em três classe diamétrica (Grande, Média e Pequena) de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>urophylla</i> em 9 árvores com 10 anos de idade para $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$	52

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Valores médios (n=45) e desvio padrão dos valores de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para 9 árvores da gênero *Eucalyptus grandis* x *urophylla* com 10 anos de idade. Em cada árvore foram amostrados 4 incrementos com 5 pontos cada nas direções Norte-Sul (NS: 0^o; 180^o), Leste-Oeste (LO: 90^o; 270^o), Noroeste-Sudeste (NOSE: 315^o; 135^o) e Nordeste-Sudoeste (NESO: 225^o; 45^o) 50
- Tabela 2 – Diferença ao longo da direção radial, valores médios (n=36) e desvio padrão de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para 9 árvores da gênero *Eucalyptus grandis* x *urophylla* com 10 anos de idade. Em cada árvore foram amostrados 4 incrementos seccionados em 5 pontos: medula, cerne, cerne/alburno, alburno e casca .. 51
- Tabela 3 – Valores médios e desvio padrão dos valores isotópicos de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ respectivamente, para as classes diamétricas grande, média e pequena de 9 árvores da gênero *Eucalyptus grandis* x *urophylla* com 10 anos de idade. Em cada árvore foram amostrados 4 incrementos com 5 pontos (medula, cerne, cerne/alburno, alburno, casca) e 3 pontos (cerne, cerne/alburno e alburno) . 53
- Tabela 4 – Valores médios e desvio padrão de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ respectivamente de seis procedências cultivadas em mesmo sítio de árvores de *Eucalyptus grandis* com 10 anos de idade. Em cada procedência foram amostradas três árvores com 1 incremento cada e 3 pontos por incremento (medula, cerne e casca) 54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIE: Análise dos isótopos estáveis

CERFLOR: Certificação Florestal

CIE: Centro de Isótopos Estáveis

DAP: Diâmetro altura do peito

EA: Analisador Elementar

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

IBÁ: Indústria Brasileira de Árvore

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IE: Isótopos Estáveis

INFLOR: Instituto Nacional de Florestas Renováveis

IPEF: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais

IRMS: *Isotope Ratio Mass Spectrometer*: Espectrômetro de massa de razão isotópica

LO: Leste-Oeste

NESO: Nordeste-Sudoeste

NS: Norte-Sul

NOSE: Noroeste- Sudoeste

LISTA DE SÍMBOLOS

δ : Delta ou valor- δ

\pm : Desvio padrão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	29
2.1	Eucalipto no Brasil.....	29
2.2	Certificação da madeira.....	31
2.3	Conceitos básicos de anatomia da madeira.....	34
2.4	Amostragem na madeira	37
2.4.1	Classes diamétricas da madeira.....	38
2.5	Fatores de procedência na madeira	39
2.6	Análise de isótopos estáveis na madeira	41
3	MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1	Área de Estudo.....	44
3.2	Amostragem dos incrementos nas árvores.....	45
3.3	Preparação das amostras de madeira.....	46
3.4	Análise isotópica.....	47
3.5	Análise dos dados	48
4	RESULTADOS.....	50
5	DISCUSSÃO	55
6	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

A biomassa florestal é um recurso que vem ganhando reconhecimento mundial devido aos seus atributos energéticos (EUFRADE-JUNIOR, 2019). As indústrias de papel e celulose também impulsionam esse fator de destaque no setor de recurso florestal (MEIRELES; FURLAN, 2018). A madeira do gênero de *Eucalyptus*, surge como um recurso florestal com viés econômico favorável, pois possui um crescimento acelerado e a qualidade dessa madeira, supri as necessidades do mercado, como por exemplo, para fins energéticos e produção de papel e celulose, atendendo a demanda comercial e impulsionando a produção da madeira sustentável.

No Brasil, devidos as condições edafoclimáticas favoráveis, a madeira comercial mais plantada atualmente, é a espécie de eucalipto (*Eucalyptus*) e em escala mundial, para produção de biomassa com fins energéticos, o eucalipto continua ocupando o primeiro lugar, seguido posteriormente de salgueiro (*Salix*), Choupo (*Populus*) e Pinus (*Pinaceae*), Mogno (*Swietenia macrophylla King*) (EUFRADE-JUNIOR, 2016; SNIF, 2016; BRAND *et al.*; 2014). Esses aspectos climáticos favoráveis, colocam o país na nona posição no ranking dos 10 maiores produtores no setor de madeira serrada (IBÁ, 2020). Entretanto, o país ainda enfrenta a privação de políticas adequadas para o seu desenvolvimento ou falta de cumprimento legislativo quanto a conduta do adequado manejo da madeira (COSTA *et al.*, 2020; SILVA, 2021). Assim sendo, a produção da madeira deve ser feita de maneira planejada e ambientalmente correta, pois quando realizada erroneamente, causa severos impactos ambientais.

A madeira de eucalipto, é um insumo de grande de elevada importância no âmbito nacional e internacional, pois é matéria-prima para as indústrias do setor de papel e celulose, produção de energia, e grande parte de sua aplicação está no setor de reflorestamento (COSTA *et al.*, 2020). Assim, estudos que expõem os efeitos da importância de se haver a legislação sendo efetivada a partir de certificações da cadeia produtiva do gênero de *Eucalyptus*, tornam-se expressivas, pois permitem evidenciar pontos de ineficiência na estrutura de fiscalização e certificação legal, podendo assim, orientar políticas com foco a manutenção e, ou, o desenvolvimento da habilidade de produção e de exportação de produtos que utilizam a madeira desse gênero no Brasil (SOUSA, 2021). Dessa

forma, devido ao mercado global, os consumidores estão cada vez mais buscando obter conhecimento quanto a origem geográfica da madeira, somando os valores do produto, em razões ecológicas, ético-sociais e ideológicas, por meio de certificação florestal (GORI *et al*, 2018).

Nas dimensões de certificação florestal brasileira, existe a regulamentação governamental responsável pela fiscalização, vinculada ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro, sendo intitulada por “Certificação Florestal” – CERFLOR. Dessa forma, o conhecimento da origem geográfica da madeira se torna essencial, pois a elaboração de técnicas e ferramentas que apoiem à atividade florestal, atreladas as questões de manejo das florestas tropicais e do reflorestamento, proporcionando a preservação das vantagens competitivas do Brasil na cadeia produtiva madeireira, reforçando aspectos ambientais, como o reflorestamento, o crescimento e a sustentabilidade, garantindo manejo sustentável de florestas no país (MOREIRA; SIMIONI; BUSCHINELLI, 2021).

Em casos de fiscalização internacional da madeira, a instituição responsável é a *Forest Stewardship Council* (FSC), promovendo o manejo florestal ambientalmente adequado, socialmente benéfico e economicamente justo e viável, cumprindo com as diretrizes a respeito do conceito de sustentabilidade. O Brasil, garante a 6ª posição no ranking total de florestas plantadas no sistema da FSC. Assim, surge a necessidade de desenvolver um método adequado capaz de identificar a procedência geográfica, para garantir a extração da madeira de fonte legítima (TACCONI, 2007). Uma metodologia eficaz quanto a rastreabilidade da madeira, é a partir da análise de isótopos estáveis (AIE).

Várias técnicas analíticas têm sido utilizadas para a autenticação de origem geográfica da madeira, como por exemplo, a AIE, que se referem aos mesmos elementos com massa diferente e a espectrometria de massa com razão isotópica. Análises isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$), oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$), hidrogênio ($\delta^2\text{H}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), possuem aplicações de relevância no campo da ciência básica e para fins mercadológicos, como no caso das análises forenses, e certificação. Especialmente no setor da agricultura, a dimensão de aplicabilidade, do conhecimento básico ao mais complexo e elaborado, se torna relevante uma vez que a produção alimentícia passa por distintas alterações com o intuito de satisfazer os requisitos ambientais sustentáveis e mercadológicos devido a

globalização, aumento produtivo, agregação de valor e nomeação de origem (INÁCIO; URQUIAGA, 2017).

É possível verificar a origem geográfica da madeira pela técnica de mapas de paisagens isotópicas, conhecidos por “*isoscapas*”, utilizando os isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ (GORI; STRADIOTTI; CAMIN, 2018; COSTA; SENA-SOUZA; NARDOTO, 2019). Um estudo utilizando AIE de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ na madeira (*Picea abies*) nos alpes europeus, evidenciou uma grande dependência desses elementos com fatores climáticos e ambientais, os quais são relativos com a localização geográfica das espécies analisadas (GORI *et al.*, 2013). Utilizando $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ nos anéis da madeira, foram elaborados protótipos espaciais que correlacionaram parâmetros de altitude, cobertura do dossel, radiação solar e temperatura de verão para a construção de mapas *isoscapas*.

Contudo, a relação da AIE de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ na madeira, pode acarretar na variação dos valores de acordo com a direção radial da amostragem do incremento e da progênie e procedência da mesma espécie de árvore. Um estudo feito por Gori *et al.* (2015), considerou a extração do incremento de amostra apenas em dois sentidos radiais (norte-sul e leste-oeste, ou seja; 90° por 90°). Outro fator que pode variar os valores isotópicos na madeira, é a classe de diâmetro da árvore analisada (PÁDUA, 2009; CREPALDI, 2021).

A classe diamétrica, deve ser considerada, principalmente nos estudos com madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, uma vez que essa espécie está sujeita a intensa competição por fatores ambientais (EUFRADE-JUNIOR; SOUSA; GUERRA, 2021). A quantidade de pontos a serem amostrados na madeira, também é um fator questionado. Estudos mostram a necessidade de se amostrar árvore por árvore (BLUNDO *et al.*, 2021)

A dificuldade em se encontrar a melhor metodologia de amostragem da madeira, é um assunto abordado há décadas. A técnica de amostragem é a principal adversidade para conseguir um valor expressivo representando a árvore como um todo (ZOBEL; BUITENEN, 1989). O processo mais aceitável, seria retirar amostras não somente na distância à altura do peito (DAP), mas também, em diversos pontos em diferentes alturas da árvore e em diferentes direções radiais, contudo, esse método leva muito tempo, se tornando inviável (DOWNES *et al.*, 1997). Contudo, a direção radial para amostragem de madeira, é o que outros estudos consideram como aspecto principal na retirada da amostra (GORI, 2015).

Outro aspecto a respeito da metodologia de amostragem na madeira, consiste nas atribuições quanto a progênies e procedências de mesmo sítio. Estudos mostram que a melhor maneira de se retirar a amostra, é a partir do da técnica destrutiva para análises de discos (JÚNIOR, 2009; TRUGILHO; MENDES; LIMA, 1996).

Dessa forma, não há uma metodologia específica para amostragem da madeira, inexistem parâmetros de indicação quanto a maneira mais eficiente de extrair amostras de árvores, que considerem fatores quanto a classe diamétrica, direção radial, quantidade de pontos a serem coletados quanto a seleção de árvores de reflorestamento e também, de diferença isotópica de procedência ou progênies para mesmo sítio. Assim, o objetivo desse trabalho é analisar se há diferenças na assinatura isotópica na madeira de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, considerando a metodologia de amostragem na direção radial, a classe diamétrica, a quantidade de pontos a serem amostrados, a secção a ser considerada no sentido casca-medula e também nas diferentes procedências cultivadas em mesmo sítio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Eucalipto no Brasil

Os primeiros registros a respeito do uso da madeira de eucalipto no mercado, são em referência a produção de papel e celulose, junto com a fabricação de sua biomassa para fins energéticos (BRITO; BARRICHELO, 1976; BRUDER, 2012). A produção de papel e celulose, oriunda da madeira da espécie de eucalipto, se tornou uma tendência do mercado internacional, sendo assim, um fator de estímulo para a plantação da espécie, ganhando importância econômica em parâmetro nacional e mundial nas últimas décadas (PINTO JUNIOR; GARLIPP; DAMAS, 2008).

Este gênero é nativo da Austrália, com mais de 600 espécies conhecidas. Sua inserção em bases técnicas no Brasil, inaugurou em 1904 (RODRIGUES *et al.*, 2021). Dessa forma, o gênero *Eucalyptus*, chegou primeiramente no Rio de Janeiro, para fins decorativos e extração do óleo essencial. Já em outros países, essa espécie se destacou não somente em relação a produção de papel e celulose, mas também, devido a sua característica de rápido crescimento, sendo considerada para fins madeireiros de lenha (FOELKEL, 2005).

Assim, a biomassa florestal, se tornou um dos recursos considerados como mais utilizados no mundo e tem conquistado notoriedade por ser associada a fatores de questões importantes no setor de proteção ambiental do século XXI. Dessa forma, sua importância tende a crescer cada vez mais, devido ao fator de sua origem ser renovável (CARVALHO *et al.*, 2021; DEMIRBAS *et al.*, 2009). Tão importante este recurso, que possibilita sua utilização como fonte primária de produção energética, como por exemplo, a partir da madeira de reflorestamento, conservando o meio ambiente, e criando um processo de energia renovável sustentável (FREITAS, 2016).

A produção energética a partir da biomassa florestal, é um processo no qual algumas espécies possuem maior notoriedade, devido a aspectos de condições climáticas, solo, e aptidão energética (SOARES, 2006).

O gênero de eucalipto também é uma das espécies de madeira mais utilizadas no setor de reflorestamento, devido ao seu elevado índice de rentabilidade, pois, seu cultivo propicia a extração de subprodutos, como a celulose, o carvão vegetal,

e ainda, possibilita a produção de chapas de madeira, que são muito utilizadas pela indústria do segmento civil (INFLOR, 2015).

A introdução do eucalipto no território brasileiro, foi realizada por Armando Navarro de Andrade, um engenheiro agrônomo, entre os anos de 1905 e 1915, com a proposta de proporcionar sementes do gênero destinadas aos plantios nas terras da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, no estado de São Paulo, para atender as necessidades inaugural de 1.000.000 de dormentes e 600.000 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de lenha (FOWLER, 2021).

Desde então a espécie ganhou notoriedade no país, sendo utilizada no início, como fator estético de embelezamento, posteriormente, foi utilizada para extração do óleo essencial, e por fim, para fins energéticos (FOELKEL, 2005). A princípio, no setor energético, a madeira de eucalipto foi muito utilizada como lenha de locomotivas, indústrias, siderurgias e em seguida, foi atribuída no setor de produção de papel e celulose, no processamento de toras em compensados, lâminas e chapas (RODRIGUES *et al.*, 2021).

Atualmente, o eucalipto ocupa a maior área de florestas plantadas no Brasil, seguido do gênero Pinus (IBÁ, 2020). Em parâmetro mundial, estima-se que o estoque total de árvores em crescimento foi de 557 bilhões m³/ha/ano de 2020, e esse acúmulo é considerado crescente, sendo que houve um aumento de 132 m³/ha/ano para 137 m³/ha/ano, quando comparado a linha de evolução florestal temporal de 1990 a 2020 (FAO, 2020).

O volume florestal em crescimento por unidade de área, é considerado mais elevado nas florestas tropicais da América Central, e também, a América do Sul, onde se enquadra o território brasileiro (FAO, 2020). Tendo em consideração que o Brasil é um país com elevada aptidão no setor florestal, devido as condições edafoclimáticas propícias, proporciona a implantação de florestas de vastas áreas, facilitando o manejo florestal ecológico da madeira, evitando impactos ambientais quanto ao uso desse recurso (WREGE, 2021). Assim, é possível evidenciar a importância desse recurso para o país.

O setor florestal brasileiro, ocupa uma posição de destaque no *ranking* dos maiores produtores e exportadores mundiais em produtos derivados da madeira de reflorestamento, se tornando um dos produtores de recursos madeireiros de florestas plantadas mais relevantes (RODRIGUES *et al.*, 2021). Atualmente, o país tem 9,85 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 75,2% apenas de

eucalipto (IBGE, 2020).

Devido a evolução da produção do setor florestal brasileiro, o consumo da madeira do gênero *Eucalyptus* pelas empresas nacionais aumentou (COSTA *et al.*, 2020). Essa perspectiva, fez com que o Brasil conquistasse novos mercados, contribuindo ainda mais para o progresso socioeconômico do país, uma vez que as empresas brasileiras são competitivas devido à elevada produtividade dos reflorestamentos, em detrimento das condições associadas ao clima favorável à atividade florestal no país, proporcionando ciclos de desenvolvimento acelerado e de grande qualidade, assim como o custo de produção inferior em relação aos demais países (ASSAD; MONTEIRO; PUGLIERO, 2021).

Uma vez mais é possível notar a relevância da madeira no território brasileiro, exemplo disso, é que em 2020 houve um aumento de 1,2% na área total florestal plantada no país. Dessa forma, a importância do eucalipto no território brasileiro, consiste em hectares plantados da espécie no país, sendo que é dotado de mais de 5 milhões de hectares plantados, com a estimativa de 80% desses plantios, serem feitos com clones e os 20% restantes com mudas produzidas por sementes (FOWLER, 2021).

2.2 Certificação da madeira

A produção de recursos naturais, é uma ação que ocorre desde a existência do ser humano no planeta Terra. Contudo, usufruir da natureza, sem planejamento e manejo adequado, geram sérios impactos ambientais. As ações antrópicas têm ocasionado um impacto negativo sob a produção de recursos naturais, uma vez que o homem explora a natureza demasiadamente, proporcionando degradação ao meio natural, sem dar tempo suficiente para que haja o reabastecimento geológico do meio ambiente (ALBUQUERQUE, 2007).

Registros mostram que desde a época da descoberta de Portugal, em 1446, existe a supressão de recursos florestais, realizados de maneira intensiva, impactando o meio ambiente e assim, criando a necessidade de se criar legislações a respeito da produção da madeira local. Dessa forma, com as Ordenações Afonsinas, no reinado de Dom Afonso IV, surgiu a primeira legislação com âmbito ambiental, atribuído a produção de madeira, sendo que a supressão madeireira foi outorgada como crime ofensivo ao rei. (FARIAS, 2008).

A destruição acelerada e cada vez mais crescente de florestas tropicais, surgiu principalmente entre as décadas de 80-90, e fez com que houvesse a necessidade de realizar um processo de certificação da madeira, mostrando sua origem geográfica e sua extração de maneira legalizada, objetivando assegurar a qualidade da produção da madeira sem gerar impactos ambientais (SPATHELF; MATTOS; BOTOSSO, 2004).

Dessa forma, com a globalização de mercado, os consumidores estão cada vez mais buscando obter conhecimento quanto a origem geográfica da madeira, somando os valores do produto, em razões ecológicas, ético-sociais e ideológicas, por meio de certificação florestal, assim como o mercado visa certificar a madeira afim de ganhar a confiança do consumidor e da opinião pública (GORI; STRADIOTTI; CAMIM, 2018; SPATHELF; MATTOS; BOTOSSO, 2004).

Nas dimensões de certificação florestal brasileira, existe a regulamentação governamental responsável pela fiscalização, vinculada ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro, sendo intitulada por “Certificação Florestal” – CERFLOR.

A CERFLOR surgiu a partir da necessidade de controlar a extração dos recursos florestais, e com a finalidade de certificar essa atividade de forma que atendesse ao atributo de boas práticas de manejo florestal. Assim, em 1991, por determinação da Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS, iniciou-se o processo de certificação florestal no território brasileiro. Em parceria com a SBS, em 1993, a Embrapa Florestas, elaboraram a primeira proposta de um sistema de certificação que representasse o contexto florestal do país, buscando a participação de outros segmentos do conhecimento, como instituições de pesquisa, empresas florestais e organizações não-governamentais. Embora a proposta tenha sido recepcionada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT em 1998, foi em fevereiro de 2002 que a mesma foi concretizada e publicada (AHRENS, 2004).

Com o propósito de incrementar e elaborar procedimentos para que produtores florestais de porte mediano ao menor, possam ser certificados e propagar a certificação de cadeia de custódia. Esse Programa obteve reconhecimento internacional do maior sistema mundial de certificação florestal, a partir do PEFCO PEFC (*Programme of Endorsement for Forest Certification Schemes* - Programa para o Reconhecimento da Certificação Florestal). No Brasil,

também existe a SYSFLOR, que trabalha com a certificação da madeira para empresas, avaliando o requerimento e a elegibilidade do empreendimento para a certificação.

A nível internacional, existe o *Forest Stewardship Council* – FSC, que é uma organização autônoma, não governamental, sem finalidade lucrativa, originalizada com objetivo de realizar o manejo florestal responsável em perímetro mundial, possuindo sua sede na Alemanha, com mais de 80 países ao redor do mundo. Foi fundado em 1994 como solução às inquietações sobre o desmatamento global, portando representação do hemisfério norte e sul, para estabelecer o que é um manejo florestal sustentável, sendo ambientalmente adequado, socialmente benéfico e economicamente viável, expondo mecanismos e recursos que fomentem uma transformação positiva no setor florestal.

Através de seu procedimento metodológico de certificação, o selo FSC identifica a produção responsável de produtos florestais, proporcionando aos consumidores e as empresas, a compra com o conhecimento a respeito da madeira, impactando positivamente a esfera socioambiental, e agregando valor aos negócios. No Brasil, desde 1996, um grupo de trabalho começou a articular as decisões em torno do FSC, iniciativa esta que se formalizou em 2001 com o Conselho Brasileiro de Manejo Florestal (FSC Brasil).

Outro documento importante relativo a produção da madeira, consiste no controle do transporte e armazenamento desse recurso, a partir do Documento de Origem Florestal (DOF), que de acordo com o IBAMA, foi instituído pela Portaria nº 253, de 18 de agosto de 2006, do Ministério do Meio Ambiente (MMA), constituindo a licença obrigatória para o transporte e armazenamento de produtos florestais de origem nativa, inclusive o carvão vegetal nativo, contendo as informações sobre a procedência desses produtos, nos termos do art. 36 da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Lei de Proteção da Vegetação Nativa).

Assim sendo, o conhecimento da rastreabilidade da madeira e da origem geográfica, se torna uma ferramenta essencial para a elaboração de técnicas e instrumentos que se referem à atividade florestal, ao uso de florestas de reflorestamento, promovendo o manejo sustentável dos recursos de madeira por meio da certificação da madeira (MOREIRA; SIMIONI; BUSCHINELLI, 2021). Dessa forma, surge a necessidade de desenvolver um método adequado capaz de identificar a procedência geográfica de árvores, garantindo a extração da

madeira de fonte legítima, como por exemplo, a técnica de rastreabilidade da madeira a partir da análise de isótopos estáveis (TACCONI, 2007).

2.3 Conceitos básicos de anatomia da madeira

A origem da palavra anatomia, provem do grego (“*anatomé*”), e tem por significado a palavra “incisão” e “dissecação”, ou seja, é o ramo da ciência que estuda a forma e estrutura de uma determinada matéria-prima (BOTOSSO, 2011).

Quando aplicado o termo de anatomia no ramo da ciência botânica, surgem os estudos relativos à anatomia da madeira, sendo um segmento do conhecimento, que estuda os diferentes tipos de células e suas constituições, como o lenho e suas funções, organizações, particularidades e relações com todo o mecanismo de atividades biológicas da madeira (BURGER; RICHTER, 1991).

Embora pareça homogênea pela aparência física, a madeira é formada por um conjunto heterogêneo e variável de diversos tipos de células e tecidos, expressando propriedades e características individuais e importantes na performance de funções imprescindíveis do vegetal/madeira associadas à condução de líquidos, transporte de substâncias nutritivas, sustentação e armazenamento de nutrientes e água, sendo esse, um fator justificável para diferentes desenvolturas de crescimento de árvores de mesma espécie e mesmo local, por exemplo (BOTOSSO, 2011; CORADIN; CAMARGOS, 2002).

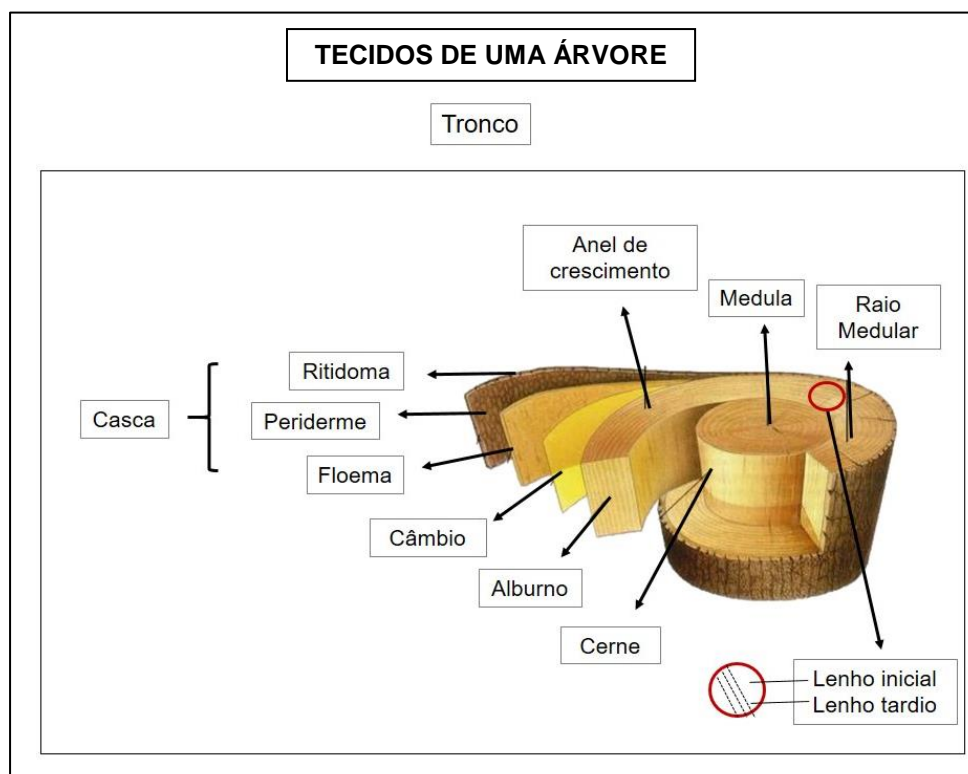
Outro aspecto que expõe a importância do estudo anatômico da madeira, é quanto a definição da estrutura das zonas de crescimento e limite do anel, pois abriga diversas informações a respeito da árvore, sofrendo influência direta do meio ambiente, como fatores climáticos de sol, temperatura, precipitação, solo e disponibilidade hídrica (BOTOSSO, 2011; PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2002).

As características da madeira associadas as camadas de crescimento, consistem no incremento anual das árvores, sendo classificados em duas categorias. A primeira é em lenho inicial ou primaveril, o qual corresponde ao desenvolvimento da árvore no período vegetativo, formada em torno da medula, em forma de anéis, na primavera, apresentando paredes mais finas, lúmens maiores, densidade baixa e coloração mais clara). A segunda classificação, é em lenho tardio, também sendo conhecido por lenho outonal ou estival,

correspondendo as últimas camadas de crescimento da árvore, apresentando paredes mais espessas, lúmens menores e coloração mais escura em suas células (EVANS, 2000; LEPAGE *et al.*, 1986).

Assim sendo, é preciso compreender a árvore de acordo com seus tecidos anatômicos e suas estruturas, dotadas de raízes, caules, folhas, flores e frutos. O que distingue um conjunto de árvores das demais, é a existência de um caule com eixo principal, sendo este, intitulado como tronco, entre a copa e as raízes (CRANG; LYONS-SOBASKI; WISE, 2018). De acordo com Rezende (2018), a formação do tronco considerando uma seção do caule no sentido casca-medula é dada por estruturas como: casca externa, também conhecida por ritidoma, sendo esta; a tecido externo da casca, cuja função é de resguardo do floema, do câmbio e do lenho de fatores que podem causar danos à árvore. Seguido do ritidoma, há a periderme, sendo constituída por três tecidos (súber, felógeno e feloderme) também com função de proteção.

Outra estrutura de sua formação é a casca interna, também sendo identificada por floema, sendo o tecido da casca que se situa junto ao câmbio com a finalidade de conduzir as substâncias nutritivas (seiva elaborada) nas plantas vascularizadas (LEPAGE, *et al.* 1986). O câmbio é o tecido da estrutura da árvore que é um conjunto de camadas celulares, localizadas entre o lenho (madeira) e a casca interna (floema) originando os tecidos. Outra composição dessa estrutura, é o alborno, sendo este, formado pelas camadas mais exteriores ou mais novas da madeira, onde ocorre o transporte da seiva bruta por meio dos vasos e estocagem de substâncias de reserva nas células do parênquima (BURGER; RICHTER, 1991). Também existe um tecido mais próximo ao interno do caule, constituída por tecido fisiologicamente morto, sendo chamado de cerne. Todas essas estruturas, podem ser observadas de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Estrutura anatômica das árvores.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de BOTOSSO, 2011; BURGER E RICHTER, 1991.

A formação dos elementos vasculares, também é um conceito fundamental no estudo anatômico da madeira, pois evidencia as características associadas ao funcionamento interior da madeira, como as células do parênquima axial (função de reserva de alimentos) e radial (função de estocar alimentos, mas se dispõem no lenho com o comprimento superior no sentido radial) e a sua formação e subdivisões e também, as fibras (responsáveis pela sustentação mecânica da planta) (CALONEGO; SEVERO; ASSI, 2005; CORADIN; CAMARGOS, 2002; MARCHIORI, 1993).

Aspectos associados a caracteres especiais da madeira, também são essenciais para seus estudos anatômicos, como a disposição do sistema cambial, sendo este, um tecido meristemático, responsável por formar a madeira, e conceber componentes celulares (é constituído por uma camada de xilema e floema). Outro caractere importante é o floema, sendo encontrado na região da casca da madeira, também podendo ser encontrada no seu interior, sendo assim, floema incluso (difuso e concêntrico). Também existem os canais celulares e intracelulares, com função de armazenar resinas e gomas. As máculas medulares, são caracteres que normalmente são formadas por injúrias do sistema cambial,

devido a lesões de origem naturais, situadas no xilema (lenho) (BOTOSSO, 2011, CORADIN; CAMARGOS, 2002, DETIENNE; JAQUET, 1983).

Em relação ao funcionamento da estrutura nutritiva das árvores, ainda que não seja um fator anatômico, é importante para compreender sua desenvoltura, estas necessitam de elementos como macro e micronutrientes primários, onde os principais são os macros nutrientes de nitrogênio (N), fósforo (P) potássio (K), cálcio (Ca) (BARKER; PILBEAM, 2007). Uma boa forma de analisar e quantificar esses elementos presentes na madeira, é a partir da técnica de análise de isótopos estáveis (REES, 2015). Dessa forma, a pesquisa relacionada a anatomia da madeira, sua amostragem e formas analíticas de análise, são aspectos essenciais para obter resultados eficientes, principalmente se associados a técnicas de análise isotópica.

2.4 Amostragem na madeira

A madeira é um recurso muito utilizado há décadas, principalmente no setor de geração de energia e produção de papel e celulose. A produção dessa biomassa florestal, é muito comum, porém, embora seja um ato universal, há controvérsias quanto a melhor metodologia de amostragem para análises laboratoriais.

Uma variável muito analisada para avaliar a qualidade da madeira, com objetivos energéticos, e do potencial de produção de biomassa, é o poder calorífico superior (PCS), contudo, ainda que seja uma variável muito utilizada em diversos estudos científicos, sendo estabelecida metodologicamente pela norma NBR 8633 da ABNT, não há menção de como proceder com a amostragem da madeira para tal análise ou para outra análise distinta (SILVA *et al.*, 2012).

A divergência de metodologia de amostragem da madeira é um aspecto muito notado nos estudos exploratórios de espécies de madeira. Um estudo feito por Gori *et al.* (2015), considerou a extração do corpo de prova amostral, apenas em dois sentidos radiais (norte-sul e leste-oeste, ou seja; 90° por 90°). Contudo, autores como VALE (2000), considera a amostragem ao longo do fuste, em 5 posições diferentes (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), para o gênero de *Eucalyptus grandis* W. Hill e *Acacia mangium* retiradas na altura da distância do peito (DAP). SILVA (2021), considera a amostragem feita pelo método destrutivo, analisando

discos de madeira de *Eucalyptus grandis* da altura 12,5%, 37,5%, 62,5% e 87,5%. Estudos mostram a metodologia de análise de madeira por discos (método destrutivo), como eficientes e expressivos (JÚNIOR, 2009; TRUGILHO; MENDES; LIMA, 1996).

O processo mais aceitável, seria retirar amostras não somente na distância à altura do peito (DAP), mas também, em diversos pontos em diferentes alturas da árvore e em direções radiais distintas, contudo, esse método leva muito tempo, se tornando inviável (DOWNES *et al.*, 1997). Contudo, a direção radial para amostragem de madeira, é o que outros estudos consideram como aspecto principal na retirada da amostra (GORI *et al.*, 2015). Dessa forma, a técnica de amostragem da madeira, se mostra como o principal gargalo na obtenção de um valor expressivo representando a árvore como um todo (ZOBEL; BUITENEN, 1989).

Técnicas modernas que visam otimizar o tempo para amostragem de madeira, surgem como resposta ao gargalo do procedimento ideal a ser realizado. Assim sendo, não há uma metodologia específica para amostragem da madeira, inexistem parâmetros de indicação quanto a maneira mais eficiente de extrair amostras de árvores, que considerem fatores quanto a classe diamétrica, direção radial, quantidade de pontos a serem coletados quanto a seleção de árvores de reflorestamento e também, de diferença isotópica de procedência e progênes de *Eucalyptus* para mesmo sítio.

2.4.1 Classes diamétricas da madeira

A madeira de *Eucalyptus*, é uma das espécies de plantação de árvores mais numerosas no estado de São Paulo, desde a década de 80, pois possui ótimas condições de desenvolvimento e geram matéria prima de qualidade (IBÁ 2019; IBGE 2020). Há grandes variações quanto aos aspectos qualitativos da madeira das diversas espécies do gênero *Eucalyptus*, e para estimar sua qualidade, existem metodologias eficientes, como análise dendrométrica, sistema de implementação e manejo florestal, ritmo de desenvolvimento, procedências de árvores e análise das classes diamétricas (SANTOS *et al.*, 2020).

Há décadas, o conhecimento quanto a classe diamétrica das árvores, é um dos parâmetros mais eficientes para mensuração da densidade básica da

madeira, sendo realizado a partir da correlação entre a soma das médias dos diâmetros da árvore e dividido por 2 (SOUZA, 1986). A classe diamétrica também é considerada em análises de rentabilidade da madeira (CREPALDI, 2021).

Estudos realizados no Mato Grosso do Sul, mostram que o conhecimento referente a classe diamétrica da madeira, é um fator importante para analisar a rentabilidade produtiva de madeira serrada e também, para estimar o volume de madeira serrada adquirido por uma serraria (MELO *et al.*, 2016). Outros estudos, também mostram a eficiência de utilizar a classe diamétrica como parâmetro de análise de madeira, observando um comportamento linear e direta ao avaliarem a influência de diferentes classes diamétricas no rendimento em madeira serrada (MURARA JUNIOR; ROCHA; TIMOFEICZYK JUNIOR, 2005).

A classe diamétrica da madeira, pode influenciar expressivamente na variação do comprimento de fibra da árvore, como no caso analisado em madeira de *Eucalyptus umbra*, na região de Piracicaba, em São Paulo (LIMA *et al.* 2011). O gênero de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* também foram estudadas em função da classe diamétrica, com o propósito de analisar a rendimento do processo mecânico da madeira (ANJOS; FONTE, 2016).

Desde a década de 80, se evidencia a relevância de a respeito da classe diamétrica para amostragem da madeira e suas posteriores análises, como evidenciado no estudo feito por Rezende e Ferraz (1985), com o gênero de *Eucalyptus grandis* da região de Salto, no estado de São Paulo. Dessa forma, compreender as características associadas a classe diamétrica da madeira é um aspecto importante na amostragem no campo.

2.5 Fatores de procedência na madeira

Muito se estuda a influência das procedências das espécies de árvore de um determinado talhão. Uma dessas relevâncias está associada à variação da qualidade da madeira, assim como podem identificar parâmetros de variações acentuadas em características físicas como a densidade da madeira estudada.

Outro fator importante relacionado ao estudo atrelado a importância do conhecimento da procedência da madeira, consiste em fatores de localização geográfica, pois de acordo com a região que a madeira se encontra, suas

características podem variar, devido a princípios edafoclimáticos de acordo com cada região (SOUZA, 1986).

Assim sendo, entende-se por procedência “a localidade dentro da região natural de ocorrência das espécies onde as sementes foram colhidas”, ou seja, é a mesma origem genética de espécie em diferentes lugares (INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS – IPEF).

Procedência de árvores é quando há o plantio de sementes adquiridas de localidades geográfica distintas, de acordo com um determinado delineamento estatístico, no qual, a variação dos aspectos ambientais é reduzido, com o intuito de escolher a melhor procedência do material genético para plantio em uma selecionada região (PAIVA, 2011).

Outro aspecto fundamental a ser considerado quanto a seleção das espécies de madeira, consiste na progênie, que é a origem genética diferente, considerando descendentes de várias árvores, mantendo a identidade do (s) progenitor (es), possibilitando o conhecimento do progenitor de cada árvore (PAIVA, 2011; YOKOMIZO *et al.*, 2020).

As definições técnicas dos conceitos de procedência e progênie de eucalipto, são definidas de acordo com a seleção da população de sementes e suas bases genéticas, sendo que procedência é a localização geográfica de árvore, na qual são caracterizadas de acordo com a zona de ocorrência natural da espécie. Já a progênie, é associado com a origem genética das árvores (IPEF, 1976).

A melhor maneira de garantir as boas características qualitativas das plantações florestais, o crescimento acelerado, a alta produtividade e qualidade da madeira, é a partir do uso de sementes de qualificadas e procedência adequada (FOWLER, 2021). Estudos mostram que os parâmetros qualitativos nos aspectos fisiológicos, junto da vitalidade das sementes de árvores, são diretamente influenciados pela procedência da árvore matriz, sendo que o termo “árvore matriz” é aquele que demonstra características que transcendem às demais em parâmetros de altura, diâmetro e formato do tronco, no vigor, na frutificação, no tamanho e formato da copa, e no processo produtivo de sementes e qualidade da madeira (SANTOS *et al.*, 2019; SENA, 2013).

Compreender a respeito do conceito do significado de “origem”, também é um fator importante, uma vez que é o local onde se ocorre naturalmente uma determinada espécie, possibilitando assim, a escolha de sementes, propágulos e

pólen vegetativos. Dessa forma, toda origem é uma procedência, diferentemente, nem toda procedência, é uma origem (PAIVA, 2011). Conhecer a origem geográfica, sendo esta; a procedência e a progênie da madeira, mostram a habilidade de uma determinada espécie de árvore em se ambientar a um novo local geográfico, dependendo da ao genética contida entre dentro das procedências, dos fatores climáticos e de solo, e da geográfica relativa à origem das sementes e dos ambientes de plantio. Assim, esse conhecimento se torna importante, pois pode mostrar a capacidade de adaptação de uma espécie em um determinado ambiente, prevenindo assim, a taxa de mortalidade por falta de adaptação e conseqüentemente, reduzindo gastos e custos futuros (SEBBENN, 2002).

Uma boa maneira de analisar a origem geográfica da madeira, é a partir de mapas de paisagem isotópica (*isoscapes*), que associam fatores edafoclimáticos com parâmetros de altitudes e mostram a procedência geográfica da madeira (GORI; STRADIOTTI; CAMIM 2018). As *isoscapes* são representadas por diversos processos biogeoquímicos, por meio de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e podem servir como fator de rastreabilidade (COSTA; SENA-SOUZA; NARDOTO, 2019).

Dessa forma, os estudos atrelados a procedência geográfica e progênie da madeira se mostram importantes, e ainda mais significativos quando associados com a assinatura isotópica da madeira.

2.6 Análise de isótopos estáveis na madeira

O entendimento a respeito da composição química e física da madeira, é essencial para a compreensão do desempenho comportamental deste recurso, para a caracterização da sua qualidade, e também, para determinação de suas funções e utilizações como matéria-prima (BRUDER, 2012; FRANZEN *et al.*, 2018). Dessa forma, é fundamental estudar as características químicas e físicas da madeira.

A composição química elementar da madeira, pode ser uniformizada de maneira que a média geral é semelhante entre espécies diferentes, sendo constituídas pelos elementos químicos de carbono (50,2%), hidrogênio (6,1%), oxigênio (43,4%), nitrogênio (0,2%) e enxofre (<0,01%), sendo que o S é

considerado negligenciável, devido sua expressão na madeira ser tão baixa a ponto de não ser considerável para análises (BRITO; BARRICHELO, 1979).

As análises de madeira, são diversas, existindo a caracterização das propriedades físicas e químicas, assim como estudos dendrométricos, sendo estas, uma ferramenta de análise de árvores florestais, consiste na técnica de estudo dos anéis de crescimento anual no caule (SLEEN *et al.*, 2017). Contudo, existe outra análise precisa de madeira, sendo esta, a análise de isótopos estáveis.

A análise de isótopos estáveis (AIE), é uma ferramenta que proporciona verificar a autenticidade e origem geográfica de determinado produto a partir da rastreabilidade, sendo muito utilizada pela indústria alimentícia e de bebidas e de tráfico de animais silvestres (DUCCATI *et al.* 2011; FERREIRA; BARROS, 2020). Essa técnica tem sido introduzida para o uso quanto a rastreabilidade e procedência da madeira (SILVA; 2021).

O termo isótopo estável ou não radioativos é definido pela manutenção das massas ao longo de sua longevidade (MARTINELLI *et al.*, 2009), sendo assim, aqueles que ocorrem naturalmente no meio ambiente (PEREIRA, 2018). A quantidade relativa de um isótopo em uma amostragem, é dada pela expressão da razão entre este mesmo isótopo e outro isótopo estável do mesmo elemento (COPLEN, 2011).

A utilidade de isótopos estáveis é muito abrangente, contemplando diversas áreas científicas, principalmente na interpretação e registro de aspectos da ciência ambiental, biogeoquímica, ecologia e fisiologia orgânica está há muito tempo estabelecida, sendo uma ferramenta indispensável para estudos de árvores (DAWSON *et al.*, 2002; FREITAS, 2020; PETERSON; FRY, 1987).

As razões dos isótopos estáveis de Carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), Hidrogênio ($^2\text{H}/^1\text{H}$) e Oxigênio ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), de madeira e componentes inteiros são frequentemente utilizadas como parâmetros do paleoclima, assim como são utilizados para traçar mapas geográficos, a partir de parâmetros climáticos (SAURER *et al.*, 2002). Dessa forma, a análise isotópica na madeira, se torna importante por nos ajudar a compreender fatores de crescimento, localização geográfica, temperatura e clima, ou seja, fatores edafoclimáticos.

A AIE, é um recurso muito utilizados em análises forenses e em vários segmentos do conhecimento, como na biologia, ecologia, ciência forense,

agronomia, geologia e arqueologia (CAXITO; SILVA, 2015). Sua importância engloba diversos campos científicos. Estudos mostram sua eficiência na área ecológica, no controle de dieta animal e estudos tróficos (ALBRECHT *et al.*, 2021), outros, expõem o uso proveitoso da AIE, no setor alimentício, na detecção de adulteração de bebidas e alimentos (KAWASHIMA; SUTO; SUTO, 2019; LIU *et al.*, 2019), como ferramenta forense no auxílio da criminalística (LEHN *et al.*, 2018) e também, em estudos no ramo ambiental e agrônomo, quanto a procedência geográfica dos produtos orgânicos, estudos quanto a água de oceanos e precipitação e até mesmo, de folhas de plantas, por exemplo (CERNUSAK *et al.*, 2016; PARK, CHOI, BONG, 2019; TIAN; WANG, 2019)

Estudos mostram seu impacto atrelado a análise de madeira, associados a características taxonômicas e efeitos locais na variância foliar do dossel de árvores de florestas brasileiras (Amazônia, Atlântica, Cerrado) (MARTINELLI *et al.*, 2021).

Os isótopos de ^{18}O e ^2H , são dispostos como indicadores ambientais, sendo assim, importantes na análise de madeira, pois permitem a caracterização das condições ambientais de um local (CHARALAMPIDES; MANOLIADIS, 2002).

Nas plantas, a variação na composição isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$), estão associados a fatores fisiológicos, como o tipo de fotossíntese que a planta realiza, de acordo com o tipo de carbono que o indivíduo possui, sendo o tipo C_3 (leguminosas, árvores e arbustos), e tipo C_4 (em geral gramíneas tropicais como a cana-de-açúcar, milho e as utilizadas para forragem) (BAISDEN *et al.*, 2016).

Já para a composição isotópica de $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$, estão atrelados a disponibilidade hídrica e sua circulação atmosférica de acordo com sua marcação geográfica (COSTA; SENA-SOUZA; NARDOTO, 2019).

Em parâmetros de análise de madeira, essa ferramenta também pode ser utilizada como fator de rastreabilidade, indicando sua procedência geográfica, como tem sido utilizada no Brasil em favor do combate a extração ilegal da madeira (OECD, 2020).

Assim, este projeto, tem potencial de desenvolver uma nova metodologia para identificação de espécies e tratamentos de plantios comerciais do gênero *Eucalyptus*, considerando a classe diamétrica e o sentido e a direção amostrada. Esta identificação, auxiliará em estudos futuros, pois será uma metodologia nova que garante a praticidade de futuras amostragens em madeira de eucalipto.

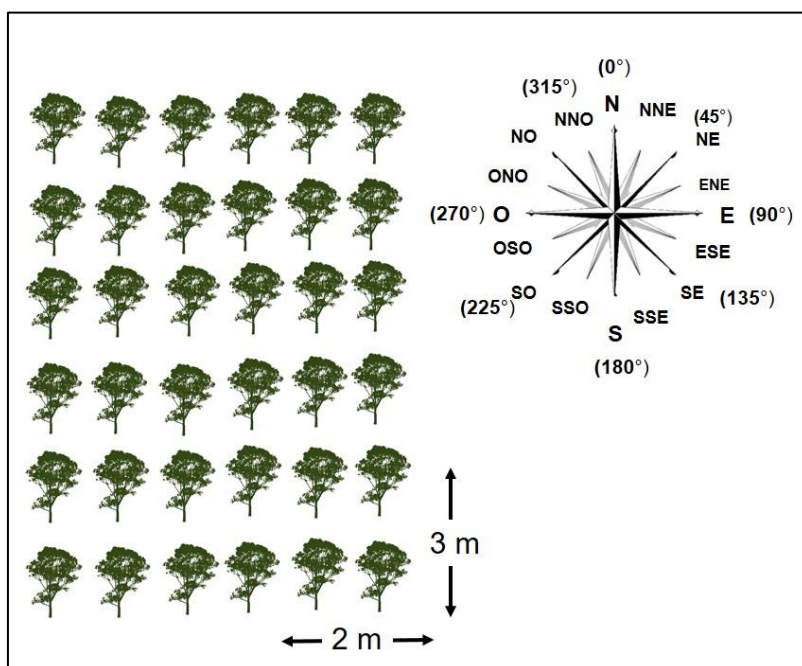
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

As amostras de madeira foram coletadas em árvores de 10 anos de idade cultivadas em dois talhões na área experimental da “Fazenda Lageado” pertencente a Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA da Universidade Júlio de Mesquita Filho -UNESP, campus de Botucatu, localizado no centro oeste do Estado de São Paulo, Brasil. O clima é do tipo Cfa, segundo a classificação de Koppen-Geiger, caracterizado por apresentar um clima temperado quente e úmido (mesotérmico), e as temperaturas médias entre 10 °C à 22 °C, com precipitação média anual de 1400 mm.ano⁻¹. O solo é caracterizado como Nitossolo (EUFRADE-JUNIOR, 2019) com textura argilosa (MUNDT, 2021).

Ambos plantios, se encontravam a uma altitude de 712 a 725 m entre as coordenadas geográficas: -22°48'27" E e -48°25'53" W com área total de 1,44 ha e espaçamento de 3,0 x 2,0 m. Os plantios foram realizados em 2009 com gênero *Eucalyptus grandis* x *urophylla* (Talhão 1) e *Eucalyptus grandis* (Talhão 2), conforme Figura 2.

Figura 2 – Croqui da área de estudo



3.2 Amostragem dos incrementos nas árvores

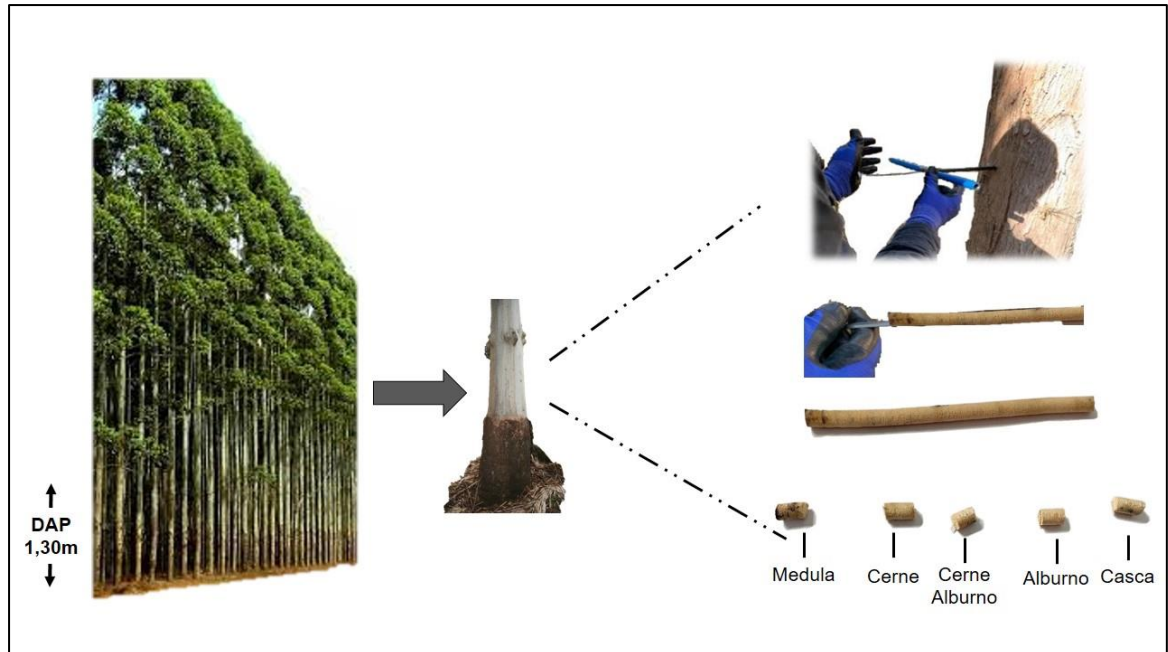
No talhão 1 foram amostradas três árvores com 10 anos de idade da espécie *Eucalyptus grandis* x *urophylla* de cada classe diamétrica: pequena; média; e grande, totalizando nove árvores. Em cada árvore foram amostrados quatro corpos de provas (incremento). A direção considerada foi: norte-sul (NS – 0° à 180°); leste-oeste (LO – 90° à 270°); nordeste-sudoeste (NESO – 45° à 225°); e noroeste-sudeste (NOSE – 315° à 135°). Totalizando 36 incrementos.

No talhão 2 foram amostradas três árvores com 10 anos de idade do gênero *Eucalyptus grandis* de classe diamétrica média para cada uma das seis procedências, totalizando 18 árvores amostradas. Em cada árvore foram amostradas um incremento em apenas um sentido (norte-sul).

Para classificar as classes diamétricas das árvores amostradas foi utilizado uma suta diamétrica medindo o diâmetro na altura do peito (DAP). A classificação dividida em três classes: pequena (<12,7 cm), média (12,7 a 19,2 cm) e grande (> 19,2 cm) foi realizada de acordo com Eufraide – Junior (2019).

Para extração dos incrementos foi utilizado um trado de incremento (marca Haglof Sweden, modelo 10-100-1019), também chamado de sonda Pressler, com 300 mm de comprimento e 5,15 mm de diâmetro do núcleo. Este trado retira da árvore em pé uma amostra de incremento – corpo de prova de madeira em forma cilíndrica com diâmetro de 5,15 mm e comprimento de até 300 mm conforme Figura 3. A altura da extração dos incrementos na árvore foi 1,3 m, ou seja, no DAP. Foi utilizado o valor do raio médio de cada árvore para garantir que o incremento atingisse a medula.

Figura 3 – Amostragem do incremento na árvore pela sonda Pressler e incrementos divididos em 5 pontos de tecidos amostrais (casca, alburno, cerne/alburno, cerne e medula)



Imediatamente após a extração dos incrementos no campo, os mesmos foram identificados e colocados em sacos plásticos e armazenados em refrigeração no laboratório Centro de Isótopos Estáveis – CIE, do Instituto de Biociências de Botucatu.

No CIE, os incrementos amostrais passaram pelo processo de seccionamento considerando 5 partes no sentido medula-casca para o primeiro talhão, ou seja; medula, cerne, cerne/alburno, alburno e casca. Já para o talhão 2, foi realizado apenas três seccionamentos no incremento amostral, considerando o cerne, cerne/alburno e alburno.

3.3 Preparação das amostras de madeira

Os incrementos de amostra foram secos em estufa de ventilação forçada (Ma 035 – Marconi, Brasil) à temperatura de 55 °C, durante aproximadamente 48 horas ou até estabilidade da massa. Após a secagem os incrementos foram seccionados em 5 segmentos de tecidos, de aproximadamente 1,0 cm cada, ao longo da

direção radial da medula até a casca. Cada tecido foi classificado em: medula, cerne, cerne/alborno, alborno e casca conforme Figura 3.

As amostras seccionadas homogeneizadas individualmente utilizando homogeneizador criogênico (Spex, modelo 6750 freezer/mil) à $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$. No homogeneizador, as amostras foram colocadas individualmente em frascos de policarbonato, em conjunto com um pistão magnético, ao qual, após ser adequadamente fechado, foi imerso em nitrogênio líquido. Devido aos impactos proporcionados por um campo magnético oscilante (15 impactos/s), o pistão magnético pulverizava a amostra. O sistema utilizado na homogeneização das amostras ocorreu em duas etapas: a primeira para congelamento da amostra durante 60 segundos; a segunda de pulverização durante 180 segundos.

Após o procedimento de homogeneização, as amostras foram acondicionadas em tubos de 1,5 mL e submetidas à liofilização (Liotop L108, Liobras, São Carlos, Brazil) à $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ e pressão de $500\text{ }\mu\text{Hg}$ por 72 h. A secagem à vácuo das amostras de madeira no liofilizador após a homogeneização criogênica foi necessária para garantir que estivessem totalmente secas.

Depois de secas, as amostras foram pesadas em balança analítica (MX5, Mettler Toledo, Switzerland) com menor divisão de $1\text{ }\mu\text{g}$, em uma sala climatizada com umidade relativa mantida aproximadamente em 40%. Foram acondicionadas em cápsulas de prata de $3,3 \times 5,0\text{ mm}$ para análise da razão isotópica dos isótopos estáveis de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), hidrogênio ($^2\text{H}/^1\text{H}$) e oxigênio ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). Os intervalos de massas utilizados para as amostras de madeira, foram de 150 a $200\mu\text{g}$.

3.4 Análise isotópica

As análises isotópicas das amostras encapsuladas foram realizadas no Centro de Isótopos Estáveis do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu – SP. As amostras foram submetidas a análise simultânea da razão isotópica de $R(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})$, $R(^2\text{H}/^1\text{H})$ e $R(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})$ em um sistema de espectrometria de massa de razão isotópica por fluxo contínuo CF-IRMS utilizando um IRMS (Delta V, Thermo Scientific, Germany) acoplado a um analisador elementar de conversão em alta temperatura e fluxo reverso (TC/EA,

Thermo Scientific, Germany) por meio de uma interface de gases (ConFlo IV, Thermo Scientific, Germany).

Os valores isotópicos foram fornecidos em valor- δ definida pela diferença relativa da razão isotópica da amostra pela razão isotópica de um padrão internacional VSMOW para $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$, e VPDB para $\delta^{13}\text{C}$, expressos em mUr (BRAND; COPLEN 2012), conforme a equação 1.

$$\delta^i E = \frac{R\left(\frac{iE}{jE}\right)_{amostra}}{R\left(\frac{iE}{jE}\right)_{padrão}} - 1 \quad (1)$$

Onde $\delta^i E$, é o valor- δ isotópico “ i ” (menos abundante) do elemento “ E ” a partir das razões isotópicas $R(iE/jE)$ da amostra de madeira em relação ao seu respectivo padrão internacional. Os resultados foram normalizados por dois pontos (PAUL; SKRZYPEK, FÓRIZS, 2007) utilizando os padrões de madeira USGS54, USGS55 e USGS56 entre cada grupo de aproximadamente 12 amostras. Para os valores de $\delta^2\text{H}$ utilizou-se o USGS54 e USGS55 correspondendo a $-150,4$ mUr e $-28,2$ mUr, respectivamente. Para os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ utilizou-se o USGS54 e USGS56 correspondendo a $+17,79$ mUr e $+27,23$ mUr e $-24,43$ mUr e $-27,23$ mUr, respectivamente (QI; COPLEN; JORDAN, 2016).

3.5 Análise dos dados

Para cada grupo de repetição foram determinadas a média e desvio padrão. As médias foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey student (teste t) para verificar a heterogeneidade da variância. Foi aplicado a ANOVA dos resultados, para testar a igualdade de três médias populacionais independentes, considerando a variância amostral verificando o efeito da classe diamétrica e a posições radiais dos incrementos amostrais, sendo aplicado o teste t ajustado a 95% de probabilidade, avaliando se havia diferença significativa entre duas amostras.

Em relação as análises estatísticas, não foram considerados a variação entre os desvios de cada uma das amostragens ao desvio da média, e sim, foi feito uma estatística comprando as diferentes partes amostrais.

4 RESULTADOS

Os valores médios isotópicos de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ dos incrementos amostrados nas direções Norte-Sul (NS: 0° ; 180°), Leste-Oeste (LO: 90° ; 270°), Noroeste-Sudeste (NOSE: 315° ; 135°) e Nordeste-Sudoeste (NESO: 225° ; 45°) não apresentaram diferença estatística com $p > 0,05$ conforme Tabela 1.

Tabela 1– Valores médios (n=45) e desvio padrão dos valores de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para 9 árvores da gênero *Eucalyptus grandis* x *urophylla* com 10 anos de idade. Em cada árvore foram amostrados 4 incrementos com 5 pontos cada nas direções Norte-Sul (NS: 0° ; 180°), Leste-Oeste (LO: 90° ; 270°), Noroeste-Sudeste (NOSE: 315° ; 135°) e Nordeste-Sudoeste (NESO: 225° ; 45°)

Isótopo	Direção Amostral	Média	p-valor
$\delta^2\text{H}$ (mUr)	NS ($0^\circ - 180^\circ$)	-97,7 \pm 14,9	0,6542
	LO ($90^\circ - 270^\circ$)	-96,4 \pm 13,7	
	NOSE ($315^\circ - 135^\circ$)	-96,7 \pm 17,2	
	NESO ($45^\circ - 225^\circ$)	-93,6 \pm 18,1	
$\delta^{13}\text{C}$ (mUr)	NS ($0^\circ - 180^\circ$)	-27,48 \pm 0,78	0,0927
	LO ($90^\circ - 270^\circ$)	-27,38 \pm 0,76	
	NOSE ($315^\circ - 135^\circ$)	-27,73 \pm 0,78	
	NESO ($45^\circ - 225^\circ$)	-27,67 \pm 0,63	
$\delta^{18}\text{O}$ (mUr)	NS ($0^\circ - 180^\circ$)	+23,55 \pm 1,34	0,1563
	LO ($90^\circ - 270^\circ$)	+23,54 \pm 1,47	
	NOSE ($315^\circ - 135^\circ$)	+23,13 \pm 1,47	
	NESO ($45^\circ - 225^\circ$)	+22,97 \pm 1,61	

As análises isotópicas dos incrementos de madeira *Eucalyptus grandis* x *urophylla* ao longo da direção radial, mostraram diferenças estatísticas entre alguns pontos amostrais (medula, cerne, cerne/alburno, alburno, casca), para os valores de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Diferença ao longo da direção radial, valores médios (n=36) e desvio padrão de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para 9 árvores da gênero *Eucalyptus grandis* x *urophylla* com 10 anos de idade. Em cada árvore foram amostrados 4 incrementos seccionados em 5 pontos: medula, cerne, cerne/alburno, alburno e casca

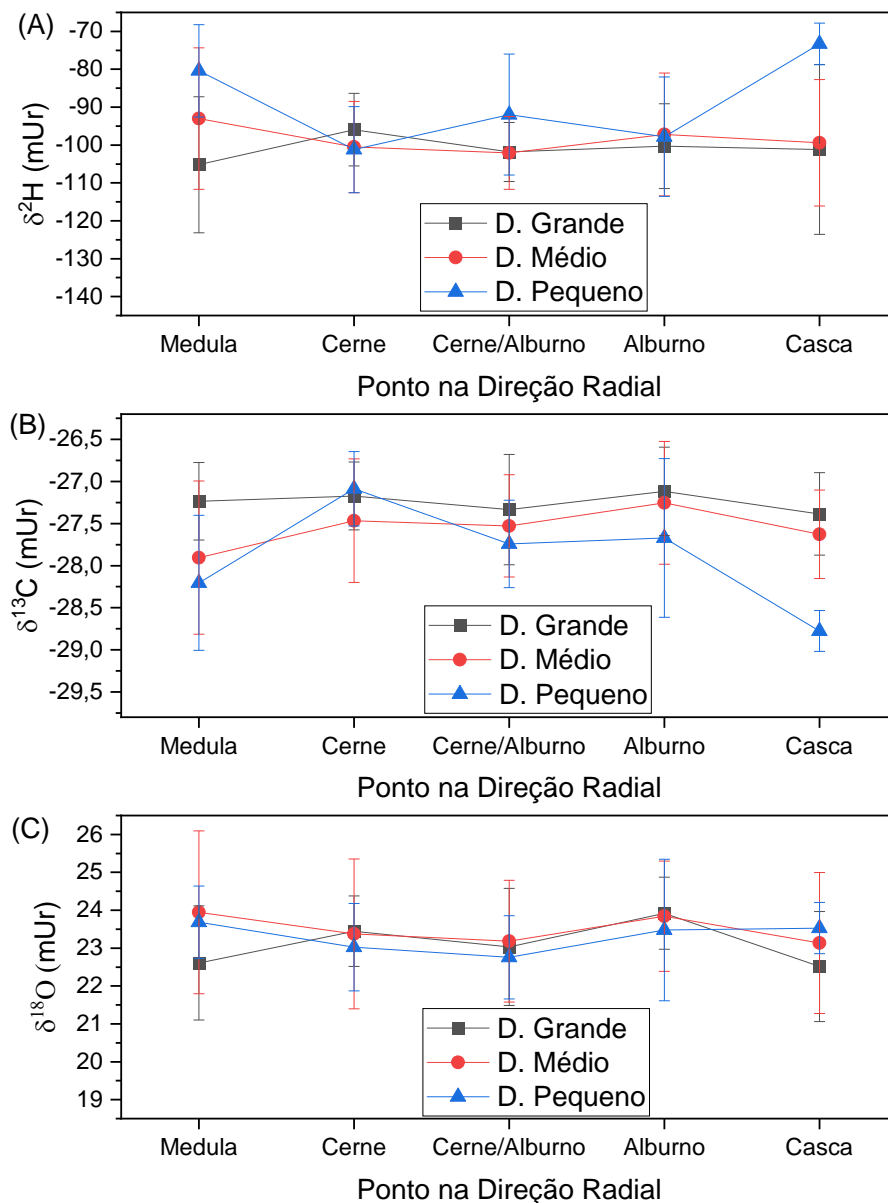
Isótopo	Ponto Amostral	Média	P-valor
$\delta^2\text{H}$ (mUr)	Medula	-85,1 \pm 12,1 ^a	0,000165
	Cerne	-97,8 \pm 10,3 ^b	
	Cerne/Alburno	-98,6 \pm 12,3 ^b	
	Alburno	-99,9 \pm 14,6 ^b	
	Casca	-99,1 \pm 23,2 ^b	
$\delta^{13}\text{C}$ (mUr)	Medula	-27,88 \pm 0,76 ^b	0,000222
	Cerne	-27,23 \pm 0,55 ^a	
	Cerne/Alburno	-27,53 \pm 0,60 ^a	
	Alburno	-27,36 \pm 0,77 ^a	
	Casca	-27,83 \pm 0,83 ^b	
$\delta^{18}\text{O}$ (mUr)	Medula	+23,78 \pm 1,01 ^a	0,009947
	Cerne	+23,44 \pm 1,15 ^{ab}	
	Cerne/Alburno	+22,99 \pm 1,41 ^{ab}	
	Alburno	+23,59 \pm 1,68 ^a	
	Casca	+22,69 \pm 1,82 ^b	

a,b e ab: mostram diferença estatística entre as médias.

As análises isotópicas pontuais amostradas ao longo dos incrementos no sentido medula/casca, apresentados na Tabela 2, mostram a variação isotópica na direção radial das árvores. Para os valores de $\delta^2\text{H}$, apenas o ponto amostrado na medula da árvore apresentou um valor isotópico mais enriquecido. Para os valores de $\delta^{13}\text{C}$, é possível observar que o ponto próximo ao cerne e alburno das árvores foram mais enriquecidos. Para os valores de $\delta^{18}\text{O}$ o ponto que apresentou um valor menos enriquecido, foi próximo a casca.

A Figura 4, apresenta a variação isotópica ao longo da direção radial dividida em 3 classes de diâmetro (pequena, média e grande) mostrando que existe semelhança nos valores médios isotópicos de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ nos pontos do cerne e alburno das árvores.

Figura 4 – Variação isotópica ao longo da direção radial em três classes diamétricas (Grande, Média e Pequena) de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em 9 árvores com 10 anos de idade para $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$



As maiores diferenças dos pontos na Figura 4, ocorreram nos pontos próximos à casca e medula para as 3 classes diamétricas, onde também pode ser observado maior desvio padrão nos valores médios da Tabela 2. O $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{13}\text{C}$ foram mais enriquecidos próximos à medula e na casca da classe diamétrica pequena. A classe diamétrica média, apresentou valores menos enriquecidos nos pontos próximos à medula e casca em relação aos pontos do cerne e alburno.

A Tabela 3, apresenta os valores médios de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ divididos nas classes diamétricas considerando 5 pontos (medula, cerne, cerne/alburno, alburno, casca) e 3 pontos (cerne, cerne/alburno, alburno).

Tabela 3 – Valores médios e desvio padrão dos valores isotópicos de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ respectivamente, para as classes diamétricas grande, média e pequena de 9 árvores da gênero *Eucalyptus grandis* x *urophylla* com 10 anos de idade. Em cada árvore foram amostrados 4 incrementos com 5 pontos (medula, cerne, cerne/alburno, alburno, casca) e 3 pontos (cerne, cerne/alburno e alburno)

Isótopo	Classe Diamétrica	5 pontos		3 pontos	
		Média	P-valor	Média	P-valor
$\delta^2\text{H}$ (mUr)	Grande	-100,9 ±14,7 ^b	0,0001	-99,4 ±9,7	0,5714
	Médio	-98,4 ±14,8 ^b		-99,9 ±12,7	
	Pequeno	-88,9 ±16,2 ^a		-97,0 ±14,6	
	Total	-96,1 ±16,0		-98,8 ±12,4	
$\delta^{13}\text{C}$ (mUr)	Grande	-27,25 ±0,51 ^c	0,0001	-27,21 ±0,53	0,1510
	Médio	-27,56 ±0,72 ^b		-27,42 ±0,68	
	Pequeno	-27,90 ±0,84 ^a		-27,50 ±0,72	
	Total	-27,57 ±0,75		-27,37 ±0,65	
$\delta^{18}\text{O}$ (mUr)	Grande	+23,10 ±1,37	0,3529	+23,47 ±1,20	0,4421
	Médio	+23,50 ±1,80		+23,47 ±1,67	
	Pequeno	+23,30 ±1,22		+23,09 ±1,41	
	Total	+23,30 ±1,48		+23,34 ±1,44	

Os índices a, b e c indicam que as médias são estatisticamente diferentes.

Na tabela 3 os valores de $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{13}\text{C}$ com 3 pontos (quando excluídos os pontos da medula e da casca) não apresentam diferença isotópica entre classes diamétricas. Os valores médios totais para $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{13}\text{C}$ são mais próximos dos valores das classes diamétricas médio quando se utiliza 5 pontos. Nos valores médios de $\delta^{18}\text{O}$ não foi encontrado diferença entre classes de diâmetro e quantidade de pontos amostrais.

A Tabela 4 apresenta os valores médios isotópicos de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{18}\text{O}$ de árvores de *Eucalyptus grandis* de 6 procedências diferentes cultivadas em

mesmo sítio. A análise de variância das médias mostrou que não houve diferença nos valores isotópicos.

Tabela 4 – Valores médios e desvio padrão de $\delta^2\text{H}$, de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ respectivamente de seis procedências cultivadas em mesmo sítio de árvores de *Eucalyptus grandis* com 10 anos de idade. Em cada procedência foram amostradas três árvores com 1 incremento cada e 3 pontos por incremento (medula, cerne e casca)

Procedência	$\delta^2\text{H}$ (mUr)	p-valor	$\delta^{13}\text{C}$ (mUr)	p-valor	$\delta^{18}\text{O}$ (mUr)	p-valor
A	-103,6±24,5		-27,24±1,25		+23,04±2,77	
B	-100,4±17,3		-27,23±0,56		+22,70±1,56	
C	-106,0±16,3	0,8960	-27,74±0,72	0,4361	+22,55±1,97	0,9499
D	-99,4±21,1		-27,22±0,63		+23,39±1,90	
E	-98,5±16,9		-27,33±0,84		+22,94±2,32	
F	-103,6±18,4		-27,59±0,83		+23,21±2,76	
Total	-101,7±18,7		-27,41±0,81		+23,06±2,30	

5 DISCUSSÃO

Este trabalho avaliou a influência na assinatura isotópica em relação a procedência de *Eucalyptus grandis*, direção da amostragem do incremento e da classe diamétrica na seleção das árvores plantas em mesmo sítio. Os resultados mostraram que a direção amostral para a retirada de um incremento na árvore, a seleção de classe diamétrica e sua procedência não influenciaram nos valores isotópicos de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$. No entanto, foi evidenciado que os pontos amostrados ao longo da direção radial na região do cerne e alburno melhor representaram o valor isotópico ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$) da árvore de *Eucalyptus grandis* \times *urophylla*. E também, os resultados mostraram que existe variação nos pontos próximos a casca e medula amostradas no DAP.

Os resultados da Tabela 1 mostraram que a amostragem de madeira de *Eucalyptus grandis* \times *urophylla* independe da direção radial. Esse fator pode estar associado a concentricidade da árvore, por todas serem cultivadas no mesmo sítio com as mesmas condições edafoclimáticas e por possuírem as mesmas condições para desenvolvimento e mesma idade (10 anos) (ARAÚJO *et al.*, 2016; SETTE JR *et al.*, 2012). Esse resultado facilita a amostragem não destrutiva de árvores plantadas utilizando a sonda Pressler, na qual a amostragem não precisa considerar a direção radial amostrada na árvore. Apesar de alguns estudos amostrarem 4 incrementos a cada 90° por árvore de outras espécies (GORI; STRADIOTTI; CAMIM, 2018), nossos resultados mostraram que para *Eucalyptus grandis* \times *urophylla*, não é necessário.

A variação ao longo da direção radial apresentada na Tabela 2, evidenciou que as extremidades dos incrementos, ou seja, pontos próximos a casca e a medula são os valores que mais variaram para os três isótopos ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$). Em oposição, os valores dos pontos amostrados próximos ao cerne e alburno, não apresentaram diferença estatística para os três isótopos em questão. Os pontos amostrados próximos a casca, foram menos enriquecidos para $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$, onde essas diferenças podem estar conectadas com aspectos físicos da madeira de *Eucalyptus grandis* \times *urophylla*, como por exemplo, as alterações do meristema cambial da casca que são ocasionadas pelas atribuições mecânico-fisiológicas originadas do processo de desenvolvimento da árvore (SETTE JR *et al.*, 2012).

Esse conjunto de fatores, também é representado pelo aumento da espessura da parede das fibras e da redução da frequência e número de vasos, à medida que é desenvolvido a casca no tronco das árvores de eucalipto (TOMAZELLO FILHO, 1985).

Outro motivo para ter ocorrido essas variações nos valores isotópicos, consiste na possibilidade de que as fibras do meristema cambial das amostras analisadas, não tenham chegado a completar o seu desenvolvimento em totalidade (SETTE JR *et al.*, 2012). Os aspectos anatômicos da madeira, como o teor de lignina associados aos anéis de idade da árvore do gênero *Eucalyptus*, também pode ser uma causa plausível para as variações nos valores isotópicos obtidos (TRUGILHO; MENDES; LIMA, 1996). As variações evidenciadas para $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$, também podem estar atreladas a variabilidade natural, sendo que, de acordo com a Figura 4, apenas algumas amostras evidenciaram variação isotópica nos valores.

As diferenças nos valores isotópicos de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ apresentadas na Figura 4, mostram variação apenas nos valores da medula à casca, contudo, quando observamos os valores do cerne, cerne/alburno e alburno, podemos notar um comportamento semelhante nos valores de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$. Essa circunstância pode ser atribuída a acurácia de, talvez, não se ter retirado exatamente a região do tecido da medula no incremento amostral, podendo então, não ter atingido o objetivo (medula) desejado com precisão. Assim como que, para as diferenças obtidas nos valores da casca, pode-se ter extraído junto ao incremento amostral, um teor de lignina da árvore, ocasionando variações nos valores isotópicos apresentados. Estudos mostram a influência dos teores de lignina em características físicas e químicas da madeira (SANTOS, 2008). Outro fator que justifica esse comportamento, é a possibilidade de se ter canais extracelulares na região da casca, pois estes, armazenam resinas e gomas, podendo influenciar nos valores isotópicos, assim como na medula, pode-se ter ocorrido alguma mácula medular, devido a possíveis injúrias do sistema cambial, alterando assim, os valores das amostras (BOTOSSO, 2011, CORADIN; CAMARGOS, 2002, DETIENNE; JAQUET, 1983). Caracteres de lenho estival contidos na casca, assim como lenho primaveril situados na região da medula, também podem ser um aspecto que influenciou nos valores isotópicos obtidos nas extremidades (DETIENNE; JAQUET, 1983).

A diferença entre as classes diamétricas amostradas com 5 pontos dos tecidos da madeira (medula, cerne, cerne/alburno, alburno e casca) apresentados na Tabela 3, podem estar atreladas a maior variação dos pontos extremos do incremento (medula e casca). Isso pode ser evidenciado nos valores médios de 3 pontos na Tabela 3 que excluem os valores dos pontos próximos à medula e casca. Os resultados da Tabela 3 mostraram que é necessário considerar a classe diamétrica média para seleção de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* para análise isotópica, pois esta, influenciou no valor isotópico para $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{13}\text{C}$; e não para $\delta^{18}\text{O}$ quando amostrados os 5 pontos ao longo do incremento. Esse comportamento pode ser justificado devido aos fatores fisiológicos da madeira de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, se correlacionado também, com a disposição dos elementos de vasos da árvore, uma vez que esse conjunto de aspectos, originam a necessidade das árvores em aumentarem suas habilidades em captar e transportar água e sais minerais (TOMAZELLO FILHO, 1985). Outra justificativa para a influência da classe diamétrica ter ocorrido para $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e não apenas para $\delta^{18}\text{O}$, consiste na forma que ocorre o crescimento entre as árvores de mesmo sítio, e a destreza dos indivíduos maiores em obter nutrientes, água, e acesso a luz (HICKEN; HESS; BORSOI, 2018; EUFRADE-JUNIOR; SOUZA; GUERRA; 2021).

O crescimento em altura e desenvolvimento das copas de uma floresta, quando chega na fase de adensamento das copas, inicia-se um processo de competição por luz, pois é a partir dela que as árvores desenvolvem seus sistemas radiculares que será essencial para a evolução do sistema de acesso e transporte nutricional da árvore, isso ocorre principalmente nas espécies de eucalipto (MARTIN, 2002). As diferenças nos valores isotópicos atribuídos a classe diamétrica, consiste no fator de dificuldade em acessar a água que a classe pequena possui, quando comparada com as demais, somando o fator de dificuldade do xilema em realizar o transporte de nutrientes. (CONDÈ *et al*, 2020).

Os valores isotópicos médios de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de árvores de *Eucalyptus grandis* de diferentes procedências cultivadas em mesmo sítio, não apresentaram diferença, conforme Tabela 4. Isso pode ter ocorrido devido a seleção de árvores de classe diamétrica média e ser da mesma espécie. A homogeneidade dos resultados de procedências de *Eucalyptus*, está atrelado aos fatores de mesmas condições edafoclimáticas, solo, disposição hídrica e mesma idade dos indivíduos

(MOURA *et al.*, 2013). Estes resultados mostraram que os valores isotópicos não dependem da procedência da espécie de árvore, e sim, das condições climáticas do sítio que foram cultivadas. Esse fator é importante para a determinação da origem geográfica de madeira do gênero *Eucalyptus grandis*.

6 CONCLUSÃO

O valor isotópico médio do $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ na direção amostral ao longo da direção radial da árvore no DAP, não interfere no seu valor isotópico médio para árvores do gênero *Eucalyptus grandis* \times *urophylla*. Foi concluído também que o indivíduo padrão de um talhão de *Eucalyptus grandis* \times *urophylla* é o que melhor representa o valor isotópico médio para $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{13}\text{C}$. Já o valor isotópico médio de $\delta^{18}\text{O}$, não é influenciado pelo diâmetro em povoamentos de *Eucalyptus grandis* \times *urophylla*. Os valores isotópicos médios de $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ da madeira não dependem da procedência de *Eucalyptus grandis*, dificultado a rastreabilidade quando cultivada em mesmo sítio.

É possível evidenciar a partir da presente pesquisa, a importância e relevância de se realizar mais estudos metodológicos e analíticos que utilizem técnicas de análise de isótopos estáveis na madeira de reflorestamento.

Também é possível observar a praticidade do método não destrutivo de amostragem da madeira, a partir da sonda Pressler.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, S. A Certificação do Manejo Florestal Sustentável dos Plantios de Pupunha e de Palmeira Real com o Sistema ABNT-CERFLOR. **Encontro Paranaense Sobre Palmitos Cultivados**, n. 1987, p. 157–167, 2008.
- ALBRECHT, M. P. *et al.* Isótopos Estáveis E Outras Ferramentas Em Estudos Tróficos De Peixes Em Riachos Tropicais. **Oecologia Australis**, v. 25, n. 02, p. 283–300, 2021.
- ALBUQUERQUE, B. P. DE. As relações entre o homem e a natureza e a crise sócio-ambiental. **Fundação Instituto Oswaldo Cruz - FIOCRUZ**, p. 1–96, 2007.
- ANJOS, R. A. M. DOS; FONTE, A. P. N. Rendimento de madeira serrada de espécies de Eucalyptus. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 1, p. 26–32, 2017.
- ARAÚJO, B. H. P.; SOUZA, M. A. R.; NASCIMENTO, H. E. M.; ZANUNCIO, A.J. V.; GUEDES, M. C., Propriedades físicas da madeira de *Calycophyllum spruceanum* Benth em função do diâmetro e da posição (base e topo) no fuste, **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, 2016.
- ASSAD, E.; MONTEIRO; PUGLIERO. **Mudanças do clima e a cultura do eucalipto**, p. 38, 2021.
- BAISDEN, W. T. *et al.* Precipitation isoscapes for New Zealand: enhanced temporal detail using precipitation-weighted daily climatology. **Isotopes in Environmental and Health Studies**, v. 52, n. 4–5, p. 343–352, 2016.
- BIRMANN, C. J. Handbook of pulping and papermaking. 2. ed. San Diego: **Academic**, p.754, 1996.
- BISSET, I.J.W. & DADSWELL, H.E. - The variation of fibre length within one tree of *Eucalyptus regnans*. **Australian forestry**, Canberra, 13(2): 81-96, 1949.
- BLUNDO, C.; CARILLA, J.; GRAU, R. MALIZIA, A. MALIZIA, L. *et al* Taking the pulse of Earth's tropical forests using networks of highly distributed plots. **Biological Conservation**, p. 108849, 2021.
- BOTOSSO, P. C. Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. **Embrapa Florestas**, p. 1-65, ed.21, 2011.
- BOURSCHEIT, A. GPS natural ajuda a desvendar crimes ambientais. In: **Associação OECO**, 2020. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/gps-natural-ajuda-a-desvendar-crimes-ambientais/>. Acesso em: 11 ago 2021.
- BOWEN, G. J. **Isoscapes: spatial pattern in isotopic biogeochemistry**. *Annu Rev Earth Planet Sci* 38:161–187, 2010.
- BRAND, M. A. *et al.* Production of biomass for energy generation in plantations of *Pinus taeda* L. with different ages. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 353–360, 2014.

BRAND W. A.; COPLEN, T. B. Stable isotope deltas: tiny, yet robust signatures, **Nature, Isotopes in Environmental and Health Studies**, v.48, ed. 3 p. 393-409, 2012.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G., Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. *In: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF*, nº 52, 1979.

BRUDER, E. M. **Métodos de determinação da densidade básica aparente da madeira de *Eucalyptus sp.*** 2012, Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Júlio de Mesquita Filho - UNESP, Botucatu, 2012.

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

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; ASSI, P. P. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 68, p. 113–121, 2005.

CARVALHO, N.; BARROS, J. L.; SILVA, D. A.; NAKASHIMA, G.T.; YAMAJI, F. M. Caracterização física e química da biomassa usada como combustível sólido em uma caldeira, **Química Nova**, 2020.

CAXITO, F. A.; SILVA, A. V. Isótopos Estáveis: Fundamentos E Técnicas Aplicadas À Caracterização E Proveniência Geográfica De Produtos Alimentícios. **Geonomos**, v. 23, n. 1, p. 10–17, 2015.

CERNUSAK, L. A. *et al.* Stable isotopes in leaf water of terrestrial plants. **Plant, Cell & Environment**, v.39, p. 1087–1102, 2016.

CHARALAMPIDES, G.; MANOLIADIS, O. Sr e Pb isotopes as environmental indicators in environmental studies. **Environmental International**, v.28, p.28-51, 2002.

CONDÉ, S. A. *et al.* Marcadores Anatômicos Do Pecíolo E a Tolerância À Seca De Ponteiros E Ao Déficit Hídrico Em Eucalipto. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 591–596, 2020.

COPLEN, T. B. Guidelines and recommended terms for expression of stable-isotope ratio and gas-ratio measurement results. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 25, n. 17, p. 2538–2560, 15 set. 2011.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A. **A estrutura anatômica da madeira e princípios para sua identificação**, ed.1, p.28, 2002.

COSTA, B.C.; SUZUKI, P. M.; JÚNIOR, P. S. M. F.; REBELLO, F. K.; SANTOS, M. L. Análise da conjuntura do mercado de madeira de reflorestamento no Estado do Pará.

Research, Society and Development, v.9, n.11, 2020.

COSTA, F.; SENA-SOUZA, J.; NARDOTO, G. Determinação da origem geográfica de vestígios utilizando isótopos estáveis: base científica e potencial de uso no Brasil. **Revista brasileira de ciências policiais**. v.10, n.1, 2019.

CRANG, R.; LYONS-SOBASKI; WISE, R. Plant Anatomy: A Concept-Based Approach to the Structure of Seed Plants, p.1-725, **Springer**, 2018.

CREPALDI, T. C. **Avaliação do rendimento e trabalho produtivo de uma serraria no município de Morro Grande, SC**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais). Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2021.

DAWSON, T.E.; MAMBELLI, S.; PLAMBOECK, A.H.; TEMPLER, A. H. **Stable isotopes in plant ecology**. Annu Rev Ecol Syst 33:507–559, 2002.

DEMIRBAS, M. F; BALAT, M.; BALAT, H. (2009). Contribuição potencial da biomassa para o desenvolvimento de energia sustentável. **Energy Conversion and Management**, v. 50, n 7, 1746-1760, 2009. Disponível em:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409000946?casa_token=FUwHlnAdn5YAAAAA:mr80CpcJmFqyJktG2qCYcajUyaX7guHPxqlaNeMh3FDa_mTefkRo8F5Z-LOn5uDOCO9CBzkUzETW>. Acesso em 11 maio 2021.

DOWNES, G. M., HUDSON, I. L.; RAYMOND, C. A.; DEAN, G. H.; MICHEL, A.J.; SCHIMLECK, R.; MUNERI, A. **Sampling plantation eucalyptus for wood and fiber properties**. Melbourne: CSIRO, 1997.

DUCATTI, C.; MARTINS, C. L.; ARRIGONI, M. B.; MARTINS, M. B.; JÚNIOR, L.C.V.; DENADAI, J.C. Utilização de isótopos estáveis em ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 40, p. 68-75, 2011.

EUFRADE-JUNIOR, H. de J.; SOUSA, J. M. R.; GUERRA, S. P. S. Efeito da adubação mineral e densidade de plantio nas características dendrométricas de plantações de eucalipto de rápido crescimento, **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 350–366, 2021.

EUFRADE-JUNIOR, H. J.; GUERRA, S. P. S.; SANGÍGOLO, C. A.; BALLARIN, A. W. Management of Eucalyptus short-rotation coppice and its outcome on fuel quality, **Renewable Energy**, v. 121, p. 309–314, 2018.

EUFRADE-JUNIOR, H. J.; LEONELLO, E. C.; SPADIM, E. R.; RODRIGUES, S.A.; AZEVEDO, G. B., GUERRA, S. P. S. Stump and coarse root biomass from eucalypt forest plantations in a commercial-scale operation for bioenergy, **Biomass and Bioenergy**, v. 142, p. 105784, 2020.

EUFRADE-JUNIOR, H. J. **Caracterização físico-química da biomassa produzida em sistemas florestais de curta rotação para geração de energia**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Júlio de Mesquita Filho - UNESP, Botucatu, 2019.

EUFRADE-JUNIOR, H., J. **Predição e controle da umidade da madeira para otimização da cadeia produtiva de energia de eucalipto**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Júlio de Mesquita Filho - UNESP, Botucatu, 2019.

EVANS II, J.W.; SENFT, J.F.; GREEN, D.W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, Madison, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

FARIAS, T. Q. Evolução histórica da legislação ambiental. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, X, n. 39, mar 2008. Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=3845>. Acesso em 21 de abr 2021.

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. **Revista Visão Agrícola**, v. 3, p. 66–69, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Global forest resources assessment 2020**. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca8753en>. Acesso em: 02 maio 2021.

FOWLER, J. A. P. Produção, tecnologia e uso das sementes de eucalipto no Brasil. In: OLIVEIRA, E. B. de; PINTO JUNIOR, J. E. (Ed.). **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. cap. 21, p. 796-821, 2021.

FILHO, T. M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* x *E. grandis*. **Ipef**, v. 29, n. October, p. 37–45, 1985.

FRANZEN, D. C.; MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; MADI, J. P. S.; BORGES, D.S. Estudos das propriedades físicas e químicas de madeiras provenientes de espécies nativas da Amazônia legal. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.15, n.27, p. 498-509. 2018.

FREITAS, G. M. **Biomassa, uma fonte de energia**. Graduação (Engenharia elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2016.

FREITAS, Y. A. S. **Razão isotópica de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) e nitrogênio ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) de folhas de plana Bahia**: investigação sobre os valores isotópicos de CO_2 ambiental 2021. Dissertação (Mestrado em física) – Universidade Federal da Bahia, Bahia. 2021.

GABRIEL, J. L. C. **Composição florística e estrutura fitossociológica do estrato arbóreo de mata mesófila semidecídua de encosta, no município de Botucatu, SP**. Rio Claro, 1990. 198p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

GONZALVEZ, A.; ARMENTA, S.; GUARDIA DE LA, M. Trace-element composition and stable-isotope ratio for discrimination of

foods with Protected Designation of Origin. **Trends in Analytical Chemistry**, 2009.

GONÇALVES, R. A. **Relações entre atributos anatômicos e vulnerabilidade ao embolismo do xilema em espécies nativas sob diferentes regimes de água e luz**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2021.

GORI, Y. STRADIOTTI, A. CAMIN, F. Timber isoscapes. **A case study in a mountain area in the Italian Alps**. *PLOS ONE*, v. 13, n. 2, 2018.

GORI, Y.; WEHRENS, R.; GREULE, M; KEPPLER, F.; ZILLER, L.; LA PORTA, N.; CAMIN, F. **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*, v. 27, n. 1, p. 265–275, 2013.

GORI, Y.; WEHRENS, R.; PORTA, L. N.; CAMIN, F. **Oxygen and Hydrogen Stable Isotope Ratios of Bulk Needles Reveal the Geographic Origin of Norway Spruce in the European Alps**. p. 1–14, 2015.

HICKEN, P.; HESS, A.F.; BORSOI, G.A. Relações biométricas e ambientais no incremento diamétrico de *Araucaria augustifolia* no Planalto Serrano Catarinense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n.4, p. 1592-1603, out.-dez., 2018.

INACIO, C. T.; URQUIAGA, S. **Aplicações da análise de isótopos estáveis na agricultura**. Rio de Janeiro. Embrapa, solos. 52 p. 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório 2019**. Brasília, DF: IBA, 1-80, 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 02 maio, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estatísticas Econômicas** – 2018. Disponível em: [https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-09/ibge-brasil-tem-985-milhoes-de-hectares-de-florestas-plantadas#:~:text=O%20Brasil%20tem%209%2C85,Geografia%20e%20Estat%20C3%ADstica%20\(IBGE\)](https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-09/ibge-brasil-tem-985-milhoes-de-hectares-de-florestas-plantadas#:~:text=O%20Brasil%20tem%209%2C85,Geografia%20e%20Estat%20C3%ADstica%20(IBGE)). Acesso em 02 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estatísticas Econômicas** – 2020. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/29167-valor-da-producao-de-florestas-plantadas-cai-em-2019-e-interrompe-3-anos-de-altas#:~:text=%20de%20florestas%20plantadas%20cresce,esp%20A9cie%20predominante%20no%20territ%C3%B3rio%20brasileiro>. Acesso em: 22 jul 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE FLORESTAS RENOVÁVEIS-INFLOR. Disponível em: < <https://www.inflor.com.br/curiosidade-o-eucalipto-no-brasil/>>. Acesso em 25 abr 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS – IPEF. **Melhoramento Florestal: Seleção de populações**, nº 19, 1976. Disponível em <http://bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3543>. Acesso em 10 de abr 2021.

JANE, F. W. **The Structure of Wood**. 2 Id. London: Adam & Charles Black, p. 478, 1970.

JESUS, D. S. DE; SILVA, J. S. Variação radial de propriedades anatômicas e físicas da madeira de eucalipto. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 1, p. 26476, 2020.

JÚNIOR G.; BENEDITO, J.B.; MENDES, M. L.; FARINASSI, M.R.; AKIRA M. F. Painéis compensado de eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências. **Cerne**, Minas Gerais, MG, v. 15, n.1, p.10-18, jan/mar. 2009.

KAWASHIMA, H.; SUTO, M.; SUTO, N. Stable carbon isotope ratios for organic acids in commercial honey samples. **Food Chemistry**, v. 289, n. March, p. 49–55, 2019.

LEPAGE, E. S. et al. **Manual de preservação de madeiras**. Vol 1. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - divisão Madeiras, p. 342 1986.

LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; GARCIA, R.; LUCA, E.F.; JÚNIOR, F. G. S.; FLORSHEIN, S. M. B. Propriedades da Madeira de *Eucalyptus umbra* R. T. Baker em Função do Diâmetro e da Posição Radial na Tora. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 3, p. 289–298, 2011.

LIU, H. *et al.* Application of isotopic and elemental fingerprints in identifying the geographical origin of goat milk in China. **Food Chemistry**, v. 277, n. October 2018, p. 448–454, 2019.

MARCHIORI, J. N. C. Anatomia da madeira e casca do Maricá *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n.1, p. 85-106, 1993.

MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, E. L., CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. 1. ed. p. 1-144, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MARTINS, L. F. S. **Configuração do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de bissólidos**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

MEIRELES, R.; FURLAN, M. M. Indústria de papel e celulose com sequencias

pré-definidas de produção. **Simpósio Nacional de Engenharia de Produção**, 2018.

MELO, R. R.; ROCHA, M. J.; JUNIOR, F. R.; STANGERLIN, D.M. Análise da influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada de cambará (*Qualea* sp.). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 393, 2017.

MOREIRA, J.M.M.A.P; SIMIONI, F.J.; BUSCHINELLI, C.C.A. **A viabilização econômica da cultura de eucalipto**. In: O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Brasília, DF: Embrapa, 2021. cap. 25. p. 907-939, 2021.

MOSCATTO, J. V. **Propriedades da madeira**, ed. 1, 1-194, Curitiba-PR, 2005.

MOURA, N. F. *et al.* Variabilidade entre procedências e progênes de Pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 41, n. 97, p. 103–112, 2013.

MUNDT, T.T. **Dinâmica e eficácia do herbicida dicamba quando aplicado no sistema solo palha**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Botucatu, 2021.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. **Floresta**, v. 35, n. 3, p. 473-483, 2005. DOI: 10.5380/ff.v35i3.5186.

OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. Variação Radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v.27, p.381-385, 2003.

PÁDUA, F.A. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da madeira). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

PAIVA, H. N. **Cultivo do eucalipto: implantação e manejo**. Viçosa-MG: Aprenda fácil, p. 1-354, 2011.

PALERMO, G. P. DE; LATORRACA, J. V. DE; ABREU, H. DOS S. Métodos E Técnicas De Diagnose De Identificação Dos Anéis De Crescimento De Árvores Tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. único, p. 165–175, 2012.

PARK, H. J.; CHOI, S.; BONG, Y. Geographical origin authentication of onions using stable isotope ratio and compositions of C , H , O , N , and S. **Food Control**, v. 101, n. September 2018, p. 121–125, 2019.

PAUL D, SKRZYPEK G, FÓRIZ I. Normalization of measured stable isotopic compositions to isotope reference scales: a review. **Rapid Communications in Mass Spectrometry** v. 21, p. 3006– 3014, 2007.

PEREIRA, L. A. Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas. **Revista Biociência**, Taubaté, v. 13, n1-2, p.16-27, jan/jun. 2007.

PETERSON, B.J.; FRY, B. Isótopos estáveis em estudos sobre ecossistemas. **Annu Rev Ecol Syst.** 1987.

PINTO JUNIOR, J.E.; GARLIPP, R.C.D. EUCALIPTO - em Agricultura Tropical: Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. vol.1- Produção e produtividade agrícola. **Embrapa**. Brasília - DF. p. 801-822, 2008.

QI, H.; COPLEN, T. B.; JORDAN, J. A. Three whole-wood isotopic reference materials, USGS54, USGS55, and USGS56, for $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ measurements. **Chemical Geology**, v. 442, p. 47–53, 2016.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. **Densidade anual da madeira de eucalyptus grandis**. In: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais-IPEF, p. 37–41, 1985.

REZENDE, S. S. **Dimensionamento de estruturas de madeira tropical utilizando a densidade básica-madeira verde, método de Paula&Bessa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Centro Universitário de Brasília, DF, 2018.

RICKEN, P.; HESS, A. F.; BORSOI, G. A. Relações biométricas e ambientais no incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* no planalto Serrano Catarinense, **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1592, 2018.

RODRIGUES, G. S. de S. C.; ROSS, J. L. S.; SANTIAGO, O. R. P. L.; FRANCO, C. **Eucalipto no Brasil: expansão geográfica e impactos ambientais: expansão geográfica e impactos ambientais**. Uberlândia: Composer, 2021. 178 p. Disponível em: http://www.lapea.ig.ufu.br/sites/lapea.ig.ufu.br/files/files/anexos/EUCALIPTO%20NO%20BRASIL_0.pdf. Acesso em: 04 jun. 2021.

SALEMI, L. P. FERNANDES, R. P., SILVA, R. W. C.; GARCIA, L. G.; MORAES, J. M.; GROppo, J. D.; MARTINELLI, L. A. Soil hydraulic properties: A simple and practical approach to estimate the number of samples. **Eurasian Journal of Soil Science**, v.9, n.1, p.18-23, 2020.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do Cerrado**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, C. P.; JÚNIOR, A.; CASTRO, R. V. O.; TRUGILHO, P. F. Estoque de energia da madeira em áreas sob manejo florestal no Rio Grande do Norte, **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, 2020.

SANTOS, J. L.; SILVA, S. S.; FOGAÇA, J. J. N. L.; NUNES, R. T. C.; MENEZES, A. T.; CARDOSO, A. D. **Vigor de sementes de *Amburana cearensis* (All.) A.C. Smith provenientes de diferentes plantas matrizes**. Acta Iguazu, Cascavel, v.8, n.2, p. 12-22, 2019.

SAURER, M. *et al.* **Spatial and temporal oxygen isotope trends at the northern tree-line in Eurasia.** *Geophysical Research Letters*, v. 29, n. 9, p. 7-1-7-4, 2002.

SEBBENN, A. M. Número de árvores matrizes e conceitos genéticos na coleta de sementes para reflorestamentos com espécies nativas. **Revista do Instituto Florestal**, v. 14, n. 2, p. 115–132, 2002.

SENA, C. M. Sementes Florestais: Colheita, Beneficiamento e Armazenamento. **Revista Madeira**, ed. 137, out, 2013.

SETTE JR, C.R.; OLIVEIRA, I. R.; FILHO, M. T.; YAMAJI, F.M.; LACLAU, J.P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*, **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1183–1190, 2012.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, p. 131, 1971.

SISTEMA NACIONAL DE INFORÇÕES FLORESTAIS – **SNIF**. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/component/content/article/106-florestas-recursos-florestais/florestas-plantadas/454-metadados?Itemid=&tipo=tableau>. Acesso em: 28 de jul 2021.

SILVA, D. M. Analysis of public policies regarding sustainable forest management and its confrontations for a more efficient market, **Brazilian Journal of Business**, v. 3, n. 1, p. 650–659, 2021.

SILVA, J. A. **Análise dos isótopos estáveis na caracterização e rastreabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis***. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Júlio de Mesquita Filho - UNESP, Botucatu, 2021.

SILVA, L. F. S.M. **Configuração do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta a aplicação de doses crescentes de bissólido**. Dissertação (Recursos Florestais). ESALQ/USP. Piracicaba, 2002.

SLEEN, P.; ZUIDEMA, P.; PONS, T. L. **Isótopos estáveis em anéis de árvores tropicais: teoria, métodos e aplicações**, 2017.

SOARES, N. S. **Potencial de implantação de um contrato futuro da madeira de reflorestamento**. 2006. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

SOUSA, L. F. C., Modelo de ranqueamento empresarial para análise da relevância das empresas no setor de florestas plantadas, **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 41, 2021.

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E.G. **Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e em posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna***. In: IPEF. n.33, p.65-72, ago, 1986.

SPATHELF, P.; MATTOS, P. P. DE; BOTOSSO, P. C. Certificação Florestal No Brasil. Uma Ferramenta Eficaz Para a Conservação Das Florestas Naturais? **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 373–379, 2004.

TACCONI, L. **Execução ilegal da lei de extração de madeira, subsistência e comércio de madeira**. Londres; Sterling Press; 2007.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* x *E . grandis*. **Ipef**, v. 29, n. October, p. 37–45, 1985.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna***. 1996.

VALE, A.T. Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p.71-80, 2002. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.229>>. Acesso em: 30 ago 2021.

WREGE, M. S; GARRASTAZU, M. C. **Regiões mais favoráveis ao crescimento e produção de madeira de eucalipto na região Sul do Brasil**, p. 32, 2021.

YOKOMIZO, G. K. I.; FARIAS NETO, J. T.; HONGYU, K. Análise Multivariada Em Características Vegetativas E Reprodutivas Em Progênies De Açaizeiros. **Científica - Multidisciplinary Journal**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2020.

ZOBEL, B.J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**, Berlim: Springer-Verlag, 1989.