



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

GABRIELA GOLDNER GIMENEZ

DENSIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO - MÉTODO DA IMERSÃO OU DO
MÁXIMO TEOR DE UMIDADE? MÉDIA ARITMÉTICA OU PONDERADA?

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2026

GABRIELA GOLDNER GIMENEZ

DENSIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO - MÉTODO DA IMERSÃO OU DO
MÁXIMO TEOR DE UMIDADE? MÉDIA ARITMÉTICA OU PONDERADA?

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências
Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira
Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Graziela
Baptista Vidaurre Dambroz

Conselheira: Dra. Thyanne
Caroline Castor Neto

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2026

GABRIELA GOLDNER GIMENEZ

DENSIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO - MÉTODO DA IMERSÃO OU DO
MÁXIMO TEOR DE UMIDADE? MÉDIA ARITMÉTICA OU PONDERADA?

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheira Florestal.

Aprovado em 06 de julho de 2026.

COMISSÃO EXAMINADORA

Natielly Cristine Gomes de Medeiros

Me. Natielly Cristine Gomes de Medeiros
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

Steffany de Lima Araujo

Me. Steffany de Lima Araujo
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora

Prof. Dra. Graziela Baptista Vidaurre Dambroz

Prof. Dra. Graziela Baptista Vidaurre Dambroz
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

*Aos meus queridos pais, Natalino e Helena, por todo amor e confiança,
carinhosamente dedico.*

*"Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você
estará fazendo o impossível."*

São Francisco de Assis

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as graças alcançadas e por se mostrar presente em cada momento da minha vida. Se hoje estou onde estou é graças à Ele e a poderosa intercessão de Maria Santíssima.

Aos meus pais, que são grandes apoiadores e incentivadores da minha caminhada, que não mediram esforços para me ajudar no que fosse necessário para que eu alcançasse mais esta conquista na minha vida.

Aos meus irmãos, irmãs, sobrinhos, tios (as), madrinhas e meus queridos avós, Cedália, João Gimenez e Margarida Goldner (Nego e Teté – *in memoriam*), Maria Rossi e Valdemar Goldner, com quem tenho um carinho especial. E toda minha família e amigos pelo carinho e apoio.

À turma da Engenharia Florestal de 2021/1 e à todos os amigos que fiz ao longo dessa jornada, em especial ao grupinho das Floresteiros Girls. Obrigada Erika Araújo, Fernanda Massa, Luana Protázio, Maria Alice Belumat e Naiane Américo por dividirem momentos incríveis juntas.

À minha querida amiga-irmã Luana Protázio, com quem tive o prazer de morar por 2 anos em Jerônimo Monteiro, agradeço por ter dividido mais que a casa, mas sim os sorrisos, as lágrimas, os conselhos e cada momento que pudemos ter passado juntas.

Aos amigos que Deus colocou em meu caminho ao longo da caminhada de fé, os amigos do EJC, do GOU Luz do Amor de Deus, Loreninha, Werikis, Isa e Aninha, e do GOU Florescer no Amor, Luana Protázio, Thaís Feletti, Mari Alves e William Masioli, e ao padre Caio, que se tornou um grande amigo.

À Thaís Feletti minha grande amiga-irmã e parceira de muitas aventuras, que tornou meus dias em Jerônimo mais felizes. Agradeço por ter sido minha cia das novenas, das missas/celebrações, dos bingos, de shows e de todos os momentos que tivemos juntas.

À todos os amigos do NUQMAD pelas trocas e por cada aprendizado que tive com cada um. Agradeço em especial à Stéffany Araujo, Sâmara Nunes, Gustavo Jaske, Thyanne Neto e Udson Junior pelos ensinamentos durante todo o meu período de estágio no núcleo. Obrigada também a Letícia Martins, Yasmin Figueiredo, Renata Maia e Débora Candeia por deixarem o momento do estágio mais leve e serem ótimas parceiras de trabalho.

À minha conselheira e parceira Thyanne Neto por toda ajuda, pelo apoio, pelos ensinamentos e por toda paciência que teve comigo nesse processo, que foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

À minha professora e orientadora Graziela Vidaurre, pelas oportunidades que me proporcionou para meu crescimento profissional. Agradeço por todo apoio e confiança.

À todos os professores por compartilharem seus conhecimentos conosco.

Ao IPEF e às empresas filiadas ao ProDM, pela oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa, pela parceria estabelecida, pelo fornecimento do material genético e pela confiança no trabalho colaborativo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e pelo incentivo à pesquisa científica.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, pela formação acadêmica, infraestrutura e apoio oferecidos para a realização deste trabalho.

Muito obrigada.

RESUMO

A crescente utilização da madeira de eucalipto pelas indústrias florestais, trouxe a necessidade de estudos voltados à qualidade da madeira, sendo a densidade básica um importante parâmetro a ser estudado dentro do setor florestal. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a influência da determinação e das formas de cálculo sobre os valores de densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes regiões do Brasil. Foram amostrados 23 clones comerciais de eucalipto com idades que variam, aproximadamente, de 6,0 a 8,0 anos. Ao todo foram amostradas 390 árvores, de cada uma foram retiradas cunhas opostas de 45° das 12 posições do fuste – 0, DAP, 12,5, 25, 33, 37,7, 50, 62,5, 66, 75, 87,5 e 100% - para realização das análises de densidade básica por imersão e pelo método de máximo teor de umidade (MTU). Com os dados obtidos de imersão foram comparadas as médias aritmética e ponderada pelo volume, bem como os métodos de determinação. Tanto o método de determinação quanto a forma de cálculo influenciam os valores de densidade básica da madeira de *Eucalyptus*, uma vez que ambas as metodologias apresentaram diferenças significativas. Isso pode ser observado pelos valores médios obtidos em cada metodologia: 504,64 kg/m³ para o método de imersão, 511,36 kg/m³ para o MTU, 504,64 kg/m³ para a média aritmética e 501,23 kg/m³ para a média ponderada. Na comparação entre os métodos de determinação, o MTU superestimou os valores de densidade básica em relação ao método de imersão. Quanto à forma de cálculo, a média aritmética apresentou valores superiores aos da média ponderada, além de elevada concordância entre os resultados, com diferença relativa de apenas 0,68%, indicando que esse procedimento pode ser uma alternativa mais simples para a determinação da densidade básica. Assim, esses resultados contribuem para uma melhor compreensão dos efeitos metodológicos na determinação da densidade básica da madeira, fornecendo subsídios para sua aplicação mais adequada no setor florestal.

Palavras-chave: Floresta plantada. Metodologias. Qualidade da madeira.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 O problema e sua importância	14
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 A densidade básica da madeira	17
2.2 Métodos de determinação e cálculo da densidade básica	19
3. METODOLOGIA	20
3.1 Área de estudo e amostragem	20
3.2 Densidade básica da madeira	22
3.3 Análise estatística	24
4. RESULTADOS DA PESQUISA	24
4.1 Densidade básica determinada pelos métodos de imersão e do máximo teor de umidade (MTU)	24
4.2 Densidade básica determinada pela ponderação pelo volume e pela média aritmética	29
5. CONCLUSÃO	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização e caracterização climática dos locais de coleta de madeira em quatro regiões do Brasil	21
Figura 2 - Amostragem e análise de densidade básica pelos métodos de determinação e formas de cálculo.....	22
Figura 3 - Valores médios de densidade básica da madeira determinados pelos métodos da imersão e do máximo teor de umidade (MTU) para os diferentes clones de Eucalyptus avaliados.	26
Figura 4 - Relação entre os valores de densidade básica da madeira determinados pelos métodos de imersão e do máximo teor de umidade (MTU) para clones de Eucalyptus.....	27
Figura 5 - Valores médios de densidade básica da madeira determinados pelos métodos da imersão e do máximo teor de umidade (MTU) para clones de Eucalyptus agrupados por idade (6, 7 e 8 anos).	28
Figura 6 - Distribuição da densidade básica da madeira determinada pelos métodos da imersão e do máximo teor de umidade (MTU) ao longo do fuste de clones de Eucalyptus.....	29
Figura 7 - Valores médios de densidade básica da madeira calculados pelas médias aritmética e ponderada para os diferentes clones de Eucalyptus avaliados.	31
Figura 8 - Relação entre os valores de densidade básica da madeira calculados por meio das médias ponderada e aritmética para clones de Eucalyptus.	32
Figura 9 - Valores médios de densidade básica da madeira calculados por média aritmética e média ponderada para clones de Eucalyptus agrupados por idade (6, 7 e 8 anos).....	33
Figura 10 - Distribuição da densidade básica da madeira calculada pelas médias aritmética e ponderada ao longo do fuste de clones de Eucalyptus.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das normas de determinação de densidade básica da madeira.....	17
Tabela 2 - Características dendrométricas e silviculturais dos 23 clones de Eucalyptus utilizados no estudo	20
Tabela 3 - Estatística descritiva da densidade básica obtida pelos diferentes métodos de determinação e as diferenças absoluta e relativa entre os métodos ..	24
Tabela 4 - Estatística descritiva da densidade básica obtida pelas diferentes formas de cálculo e as diferenças absoluta e relativa entre os cálculos	30

1. INTRODUÇÃO

Desde o século XX, a madeira de eucalipto consolidou-se como uma das principais matérias-primas do setor florestal brasileiro, inicialmente voltada à produção de energia e, atualmente, expandindo sua aplicação para os setores de celulose e papel, painéis e de madeira sólida (Rodrigues *et al.*, 2021). Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2025), o Brasil alcançou, em 2024, aproximadamente 8,1 milhões de hectares plantados de eucalipto, devido ao rápido crescimento da espécie, sua elevada produtividade e adaptação às condições edafoclimáticas, fatores que evidenciam sua importância econômica e estratégica para o país.

Entre as propriedades tecnológicas da madeira, a densidade básica é amplamente utilizada em programas de melhoramento genético e em estudos de qualidade da madeira, por estar associada a propriedades físicas e mecânicas que influenciam a qualidade do produto (Boschetti *et al.*, 2020; Couto *et al.*, 2012; Foelkel, 2015). Além disso, é uma propriedade que se evidencia em razão de seu impacto nos custos logísticos e operacionais da indústria (Boschetti *et al.*, 2020).

A determinação da densidade básica pode ser realizada por diferentes metodologias. Entre as mais utilizadas destacam-se o método da imersão, baseado na relação entre massa seca e o volume saturado adquirido por meio do deslocamento da água após submersão da amostra (NBR 11941, 2003), e o método do máximo teor de umidade (MTU), que utiliza a massa da amostra saturada e a massa seca em estufa (Bortoletto Júnior *et al.*, 2024).

Ainda que esses métodos sejam aplicados em pesquisas e aplicações industriais, as diferenças metodológicas resultam em valores diferentes para uma mesma amostra. Arantes *et al.* (2024) mostraram, por exemplo, que o uso do método de imersão apresentou valores maiores de densidade básica em comparação ao MTU para as mesmas amostras de cavacos.

O método do máximo teor de umidade (MTU) caracteriza-se por um procedimento simples, exigindo apenas duas pesagens: da amostra saturada e da amostra seca. Entretanto, sua precisão pode ser influenciada pelas propriedades da madeira e, principalmente, pela necessidade de completa saturação das amostras, uma vez que a saturação incompleta pode resultar em valores menos precisos da densidade básica (Afonso *et al.*, 2023).

Além dos métodos de determinação, existem diferentes formas de cálculo da densidade básica que também podem impactar os resultados. A comparação entre a densidade básica obtida pelos cálculos das médias aritmética e ponderada em espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* de diferentes idades mostrou que árvores mais jovens de eucalipto apresentaram diferenças significativas, que podem estar relacionadas ao material genético e às características das árvores avaliadas (Araujo *et al.*, 2025).

A densidade pode ser calculada por meio da média aritmética dos valores obtidos em cada seção do fuste da árvore ou por meio da média ponderada pelo volume. Enquanto a média aritmética corresponde a uma média simples, a média ponderada considera a contribuição volumétrica de cada seção ao longo do fuste da árvore, sendo um processo mais trabalhoso (Araujo *et al.*, 2025).

Apesar da ampla utilização dessas metodologias, ainda são escassos os estudos que avaliam os efeitos dos métodos de determinação e das formas de cálculo na densidade básica da madeira utilizando um amplo banco de dados de diferentes materiais genéticos e condições de cultivo.

Dessa forma, é preciso identificar as diferenças entre os métodos e as formas de cálculo, a fim de compreender a magnitude dessas variações. Diante desse contexto, este estudo parte das hipóteses de que: (i) o método do máximo teor de umidade tende a superestimar os valores de densidade básica em relação ao método de imersão; e (ii) a média aritmética tende a superestimar a densidade média da árvore quando comparada à média ponderada.

1.1 O problema e sua importância

A densidade básica é uma das propriedades mais utilizadas para avaliar a qualidade da madeira, servindo como base para programas de melhoramento genético, inventários florestais e processos industriais. Entretanto, sua determinação pode ser realizada por métodos destrutivos e não destrutivos. Nos métodos destrutivos, ocorre o abate da árvore para a retirada de amostras destinadas a análises laboratoriais, permitindo uma avaliação mais detalhada dessa propriedade (Conceição, 2026).

Entre os métodos destrutivos mais utilizados para a determinação da densidade básica destacam-se o método de imersão e o MTU. Além dos métodos de determinação, a densidade básica média da árvore pode ser obtida por diferentes formas de cálculo, como as médias aritmética e ponderada pelo volume, as quais podem influenciar os valores obtidos.

Apesar dessas metodologias de determinação e formas de cálculos serem amplamente empregadas em pesquisas e aplicações industriais, ainda não há um entendimento definido sobre as dimensões das diferenças geradas por cada metodologia, mesmo quando avaliadas com um amplo banco de dados. Dessa forma, resultados obtidos por metodologias diferentes podem prejudicar comparações entre estudos, interferir na interpretação da qualidade da madeira e afetar as tomadas de decisão do manejo florestal ao uso da matéria-prima.

Nesse sentido, é necessário compreender se os métodos de determinação e as formas de cálculo produzem diferenças significativas nos valores de densidade básica e qual é o tamanho dessas diferenças, visto que os resultados devem ser representativos e ocorrer de maneira assertiva (Araujo *et al.*, 2025). Essas informações podem contribuir para padronizar os procedimentos metodológicos, aumentar a confiança nos resultados e, assim, trazer esclarecimentos nas tomadas de decisão e contribuir para as pesquisas e as aplicações no setor florestal.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da determinação e das formas de cálculo sobre os valores de densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes regiões do Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar os valores de densidade básica obtidos pelos métodos de imersão e do máximo teor de umidade (MTU);
- Comparar os valores de densidade básica da árvore calculados por meio das médias aritmética e ponderada pelo volume;
- Quantificar as diferenças observadas entre os métodos de determinação e as formas de cálculo da densidade básica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira é uma das propriedades mais importantes nos estudos de qualidade da madeira, por influenciar características físicas e mecânicas da madeira, fundamentais para fins industriais. Ela normalmente é definida pela relação entre os valores de massa e volume, em que se utiliza a massa absolutamente seca em estufa ($\pm 105^{\circ}\text{C}$) e o volume da amostra saturada em água, e é expressa, geralmente, em: g/cm^3 ; kg/m^3 ou t/m^3 (Foelkel, 2015).

Entre as principais normas utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira estão a CM 43:95 (Scandinavian Pulp, Paper, and Board Testing Committee, 1995), a ABNT NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas técnicas, 2003), a T 258 om-16 (Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2016) e a D2395-14 (American Society for Testing and Materials, 2017) (Tabela 1).

Tabela 1 - Características das normas de determinação de densidade básica da madeira.

Norma (ano)	Saturação da amostra	Determinação do volume	Secagem	Critério de massa constante
SCAN-CM 43 (1995)	Submergir em água à temperatura ambiente por 4 horas a 3 dias. Remover o excesso de água antes da pesagem.	Volume deslocado utilizando suporte perfurante.	$105 \pm 2^{\circ}\text{C}$.	Até massa constante (sem critério numérico).
ABNT NBR 11941 (2003)	Submergir as amostras até atingir o PSF.	Volume deslocado por imersão utilizando suporte perfurante.	$105 \pm 2^{\circ}\text{C}$.	Diferença entre duas pesagens consecutivas inferior a 0,5 g.
TAPPI T 258 (2016)	Amostra verde ou imersa em água a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por, no mínimo, 1 hora, até exceder o PSF. Antes da pesagem, remover a água superficial e aguardar 5 minutos.	Não especifica suporte perfurante; determina o volume com a amostra saturada.	Até massa constante.	Não especifica um valor numérico para massa constante.
ASTM D2395-14 (2017)	A umidade da amostra deve exceder o PSF.	Volume deslocado utilizando suporte perfurante simples.	$103 \pm 2^{\circ}\text{C}$.	Massa não deve variar mais que 2% durante um período de 8 horas.

PSF: Ponto de Saturação das Fibras

Fonte: A autora (2026).

A madeira, por ser um material heterogêneo, apresenta variações de densidade ao longo do fuste, tanto no sentido radial (medula-casca) quanto no sentido longitudinal (base-topo). As características anatômicas, como o tamanho das fibras, a organização da parede celular e a frequência e o diâmetro vascular são fatores determinantes da variação da densidade básica no sentido medula-casca, enquanto que as variações de densidade no sentido base-topo estão associadas principalmente à espécie, embora também sejam influenciadas por outros fatores (Boschetti *et al.*, 2020).

A determinação da densidade básica da madeira pode ser realizada por meio de diferentes tipos de amostras, como discos, cunhas, cavacos e baguetas, além da utilização de métodos não destrutivos. Os valores obtidos variam em função de diversos fatores, como espécie, material genético, idade, condições de crescimento e metodologia empregada, podendo ser classificados em diferentes faixas de densidade.

Nesse contexto, Conceição (2026) propôs uma classificação para amostras de discos e cunhas de eucalipto, dividindo-as em três classes: Classe A, correspondente às madeiras de baixa densidade (449–485 kg/m³); Classe B, às madeiras de densidade média (486–521 kg/m³); e Classe C, às madeiras de alta densidade (522–558 kg/m³). Essa classificação constitui uma referência para a interpretação dos valores de densidade básica obtidos em materiais de eucalipto.

Os variados valores de densidade das espécies impactam diretamente os setores industriais. Para os setores de celulose e papel, é interessante que a madeira apresente densidade intermediária, com variação entre 400 e 550 kg/m³, enquanto que para o setor de produção de energia e de carvão, madeiras de maiores densidades são mais adequadas por apresentarem maior poder calorífico (Ramos *et al.*, 2024; Andrade; Tomazello Filho; Moutinho, 2018).

Já para o setor de painéis, em que a densidade está relacionada diretamente com a compactação do material, para madeiras de densidades mais baixas, os painéis tendem a apresentar maior compactação devido a superfície de contato durante a prensagem (Conceição, 2026).

2.2 Métodos de determinação e cálculo da densidade básica

Para a determinação da densidade básica, pode-se utilizar métodos baseados em medições de massa e volume, como o método de imersão e o MTU. No método de imersão, é utilizado o princípio de Arquimedes, em que o volume da amostra corresponde ao volume de líquido deslocado, portanto, para realização do cálculo deve-se conhecer a densidade do líquido deslocado. Além disso, para esse método não é necessário que a amostra tenha um formato definido, mas é preciso o uso de aparelhos específicos e maior tempo de execução (Conceição, 2026).

No método de MTU as amostras vêm estar com seus poros preenchidos por água, ou seja, é necessário que a madeira atinja sua máxima capacidade de saturação e, posteriormente, obter a massa absolutamente seca para realizar o cálculo da densidade básica (Foelkel, 2015). Esse método considera a relação entre a massa úmida saturada e a massa seca, visto que materiais mais densos tendem a ser menos porosos e, portanto, apresentam menor teor máximo de umidade devido sua estrutura anatômica (Arantes *et al.*, 2024).

Um estudo realizado com clones de eucalipto demonstrou que o método de determinação da densidade básica por imersão apresenta alta correlação com o método do máximo teor de umidade (MTU), indicando que ambos fornecem estimativas semelhantes. Além disso, os autores destacam o MTU como uma alternativa vantajosa, em razão de sua maior simplicidade operacional e rapidez de execução, sendo recomendado para avaliações em programas de melhoramento genético (Alarcón *et al.*, 2019).

Para a determinação da densidade básica média da árvore, é necessário calcular a média dos valores obtidos ao longo do fuste, o que pode ser realizado por meio da média aritmética ou da média ponderada. A média aritmética é obtida a partir dos valores de densidade das diferentes posições amostrais do fuste, atribuindo o mesmo peso a cada uma delas, o que torna seu cálculo simples e de fácil aplicação.

A média ponderada considera a contribuição volumétrica de cada seção do fuste, sendo calculada com base em variáveis como o diâmetro e o comprimento das seções. Dessa forma, proporciona uma estimativa mais representativa da densidade básica média da árvore. No entanto, sua aplicação demanda maior tempo e

complexidade, pois requer a realização da cubagem e a obtenção de informações volumétricas para o cálculo (Araujo *et al.*, 2025).

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo e amostragem

Os materiais utilizados no presente estudo são provenientes do Programa Cooperativo sobre Densidade da Madeira (ProDM), coordenado pelo Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais – IPEF (www.ipef.br/prodm/). No total, foram avaliados 23 clones comerciais de eucalipto, com idades entre 6 a 8 anos (Tabela 2), coletados em 15 sítios distintos no Brasil.

Tabela 2 - Características dendrométricas e silviculturais dos 23 clones de *Eucalyptus* utilizados no estudo

Clones	Espécies	Idade (anos)	N	IMA (m³/ha/ano)	Altura comercial (m)	DAP (cm)	Esp. (m x m)
C1	<i>E. saligna</i>	8	30	31,06	26,56	16,93	3,50 x 2,14
C2	<i>E. urophylla</i> x <i>E. maidenii</i>	8	30	26,13	22,03	18,62	3,00 x 2,50
C3	<i>E. dunnii</i>	8	30	52,20	25,10	18,26	3,50 x 2,14
C4	<i>E. urophylla</i>	8	30	27,40	24,16	17,97	4,50 x 1,70
C5	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	30	48,40	23,55	17,43	3,50 x 2,20
C6	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	30	53,30	24,81	18,15	3,50 x 2,20
C7	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	21	43,80	24,81	18,44	2,80 x 3,20
C8	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	5	54,97	25,46	16,57	3,00 x 2,70
C9	<i>E. urophylla</i>	6	4	49,44	27,42	16,18	3,30 x 2,70
C10	<i>E. brassiana</i> x <i>E. grandis</i>	6	5	45,62	25,61	15,94	3,00 x 3,00
C11	<i>E. platyphylla</i>	6	5	45,39	26,07	15,98	3,00 x 2,70
C12	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	5	35,84	23,87	15,65	3,00 x 3,00
C13	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	5	23,57	17,45	11,25	3,00 x 3,00
C14	<i>E. urophylla</i>	6	5	23,29	20,32	14,71	3,00 x 3,30
C15	<i>E. urophylla</i>	6	5	18,85	21,85	9,97	3,00 x 2,70
C16	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	15	33,35	24,93	17,83	4,00 x 2,25
C17	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	7	15	40,91	28,42	19,02	3,50 x 2,60
C18	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	6	15	32,51	25,47	18,23	4,00 x 2,50
C19	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	6	15	45,45	27,56	18,22	3,50 x 2,60
C20	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	6	15	39,85	30,17	19,21	3,00 x 3,00
C21	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	6	15	41,55	27,48	18,15	3,00 x 3,00
C22	<i>E. urophylla</i>	7	30	43,12	25,63	14,98	3,00 x 2,80
C23	<i>E. urophylla</i>	6	30	34,86	19,90	14,02	3,10 x 2,40

N: Número de árvores por clone; IMA: Incremento Médio Anual; DAP: Diâmetro com casca (1,30 m do solo (cm)); Esp.: Espaçamento do plantio.

Os clones coletados são provenientes de quatro das principais regiões do país, Norte, Nordeste, Sudeste e Sul, e, por isso, além das diferenças genéticas, as árvores se desenvolveram sob diferentes características edafoclimáticas e de manejo, visto que as coletas foram realizadas em áreas de diferentes empresas florestais, possibilitando variações destes fatores e permitindo maior variabilidade dos materiais em estudo. Dentre as principais diferenças edafoclimáticas estão a temperatura, variando entre a mínima de 17 °C no Rio Grande do Sul e a máxima de 29 °C em Minas Gerais.

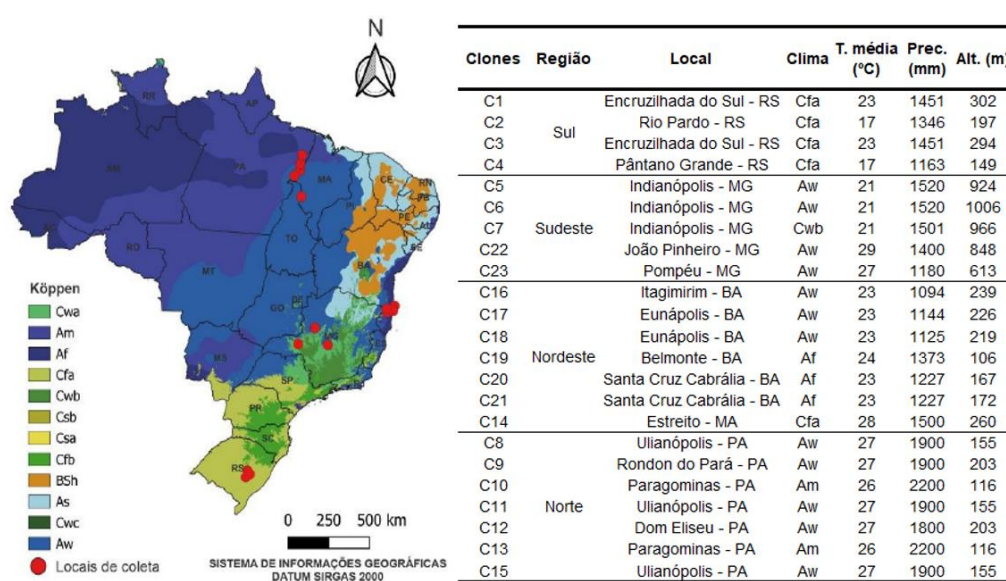


Figura 1 - Mapa de localização e caracterização climática dos locais de coleta de madeira em quatro regiões do Brasil

Fonte: A autora (2026).

Foram amostradas 390 árvores, selecionadas aleatoriamente, desde que não estivessem localizadas nas bordaduras, não tivessem defeitos estruturais e apresentassem um diâmetro à altura do peito (DAP) próximo a média do povoamento. A altura comercial foi definida considerando o diâmetro mínimo de 5 cm com casca, favorecendo a representatividade dos materiais avaliados.

A amostragem consistiu na coleta de discos com aproximadamente 2,5 cm de espessura, obtidos em 12 posições ao longo da altura comercial da árvore: base (0%), DAP (diâmetro à altura do peito), 12,5%, 25%, 33%, 37,5%, 50%, 62,5%, 66%, 75%, 87,5% e 100% da altura comercial (Figura 2). Em seguida, de cada disco foram

retiradas duas cunhas opostas, com 45° aproximadamente, para a realização das análises.

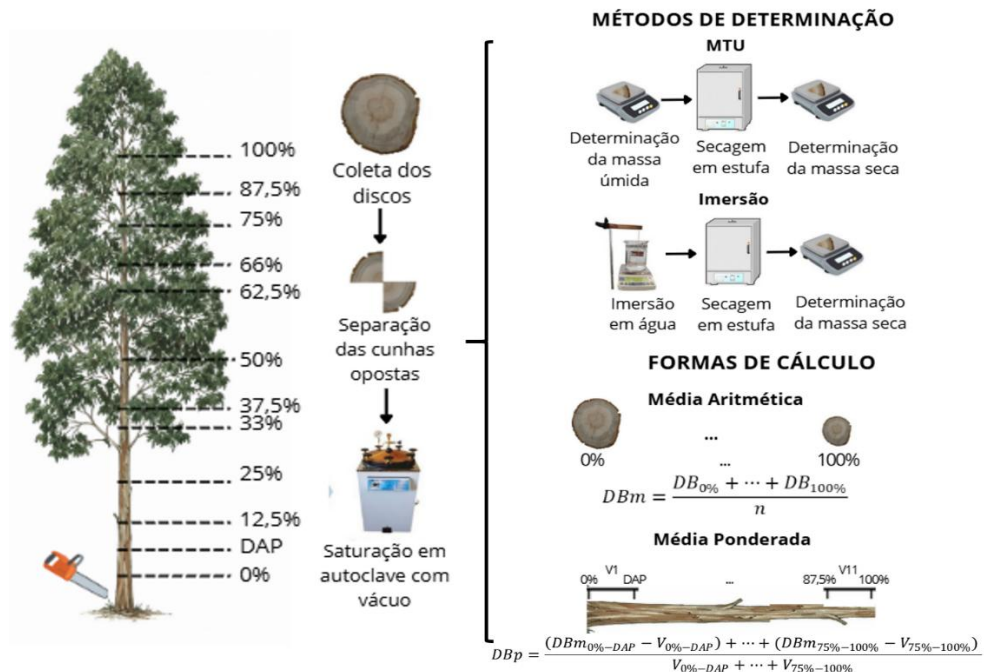


Figura 2 - Amostragem e análise de densidade básica pelos métodos de determinação e formas de cálculo.

Fonte: A autora (2026).

3.2 Densidade básica da madeira

A determinação da densidade básica foi realizada seguindo os critérios da ABNT NBR 11941 (ABNT,2003). As cunhas foram colocadas para saturar em água em autoclave. Elas foram sujeitas ao vácuo diário de 30 minutos, para acelerar o processo de saturação, até que as amostras atinjam massa constante, quando a variação das pesagens diárias for inferior a 0,5 gramas.

Para o método de imersão, após a completa saturação, as cunhas foram imersas em água e pesadas o volume deslocado; depois foram inseridas em estufa a 105 ± 2 °C até a massa constante e pesadas as amostras secas. A densidade básica de cada árvore foi determinada pela média aritmética e ponderada das cunhas das 12 posições. Já para o método de MTU, as amostras saturadas foram pesadas

diretamente na balança e depois colocadas na estufa a 105 ± 2 °C para pesagem das amostras secas (Figura 2).

Para a determinação da densidade básica pelo método de imersão foi utilizada a Equação 1 e pelo MTU a Equação 2 (Coelho, 2021):

$$DB = \frac{Ms}{Mu - Mi} \quad (\text{Equação 1})$$

$$DB = \frac{1}{\frac{Mu}{Ms} - 0,346} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que DB: densidade básica (kg/m^3); Ms: massa da madeira seca em estufa a $105^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ (g); Mu: massa úmida da madeira saturada (kg); Mi: massa imersa da madeira saturada (kg); 0,346: constante referente à relação entre a densidade relativa da água (1 g) e a densidade da substância madeira ($1,534 \text{ g/cm}^3$).

Após a realização das determinações pelos diferentes métodos, os valores de densidade básica foram calculados a partir dos dados obtidos nas pesagens das amostras (Figura 2). Para o cálculo da média aritmética foi utilizada a Equação 3:

$$DBm = \frac{DB_{0\%} + \dots + DB_{100\%}}{n} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que DB_m : densidade básica média aritmética (kg/m^3); DB: densidade básica em determinada posição (Kg/m^3); e n: quantidade de posições amostradas.

Já para o cálculo da média ponderada foi utilizada a Equação 4:

$$DBp = \frac{(DBm_{0\%-DAP} - V_{0\%-DAP}) + \dots + (DBm_{75\%-100\%} - V_{75\%-100\%})}{V_{0\%-DAP} + \dots + V_{75\%-100\%}} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: DB_p : densidade básica ponderada (kg/m^3); $DB_{m_{p-(p+1)}}$: densidade básica média entre duas posições consecutivas (kg/m^3); $V_{p-(p+1)}$: volume da seção entre duas posições consecutivas (m^3).

3.3 Análise estatística

Foi verificada a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, os valores médios de densidade básica obtidos pelos diferentes métodos de determinação e formas de cálculo foram comparados por meio do teste t pareado.

A relação entre os métodos de determinação e as formas de cálculo foi avaliada por meio de análise de regressão linear simples, Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e gráficos de dispersão. Além disso, foram calculadas a amplitude, pela diferença do valor máximo pelo mínimo, e as diferenças absolutas (kg/m^3) e relativas (%) entre os métodos e formas de cálculo avaliados.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* Jamovi (versão 2.7.30), adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 Densidade básica determinada pelos métodos de imersão e do máximo teor de umidade (MTU)

Os resultados de densidade básica obtidos para os dois tipos de métodos (imersão e MTU) apresentaram valores médios próximos entre si (Tabela 3), com variação inferior a 7 kg/m^3 , porém com diferença significativa. Deste modo, a escolha do tipo de método irá depender dos objetivos do estudo, bem como da disponibilidade de tempo e equipamentos necessários, visto que no método de imersão deve-se utilizar aparelhos específicos além de se precisar de um maior tempo (Conceição, 2026).

Tabela 3 - Estatística descritiva da densidade básica obtida pelos diferentes métodos de determinação e as diferenças absoluta e relativa entre os métodos

Método	Média (kg/m^3)	Mín. (kg/m^3)	Máx. (kg/m^3)	DP (kg/m^3)	CV (%)	Amplitude (kg/m^3)	Dif. (kg/m^3)	Dif. (%)
Imersão	504,64	426,74	577,69	38,36	0,08	150,96	6,71	1,31
MTU	511,36*	319,51	632,77	39,83	0,08	313,26		

Mín: valores mínimos de densidade básica; Máx: valores máximos de densidade básica; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Dif.: diferença entre as médias dos métodos em kg/m³ e %; *estatisticamente significativo a um nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

A determinação da densidade básica pelo método de imersão e pelo MTU apresentaram um desvio padrão com diferença inferior a 2 kg/m³ e os mesmos valores de coeficiente de variação. A maior variação entre os métodos pode ser observada entre os valores mínimos dos métodos, com uma diferença de 107,23 kg/m³, enquanto que para os valores máximos essa diferença é de aproximadamente 55 kg/m³.

Os resultados mostraram ainda que, embora os valores de média tivessem pouca diferença entre os métodos, o método de MTU apresentou maior valor de amplitude, valor máximo menos o mínimo, o que mostra que este método é mais variável. E apesar de ambos métodos possuírem diferença estatística significativa, o tamanho da diferença foi pequena, correspondendo a apenas 6,71 kg/m³ ou 1,31% da densidade média.

Os valores de densidade básica para os materiais genéticos mostraram que houve variações significativas entre as espécies e na média geral de acordo com os métodos de imersão e MTU (Figura 3). Essas variações permitem perceber que as diferenças nos valores de densidade podem estar relacionadas tanto as especificidades de cada metodologia quanto as características fisiológicas e de plantio de cada material.

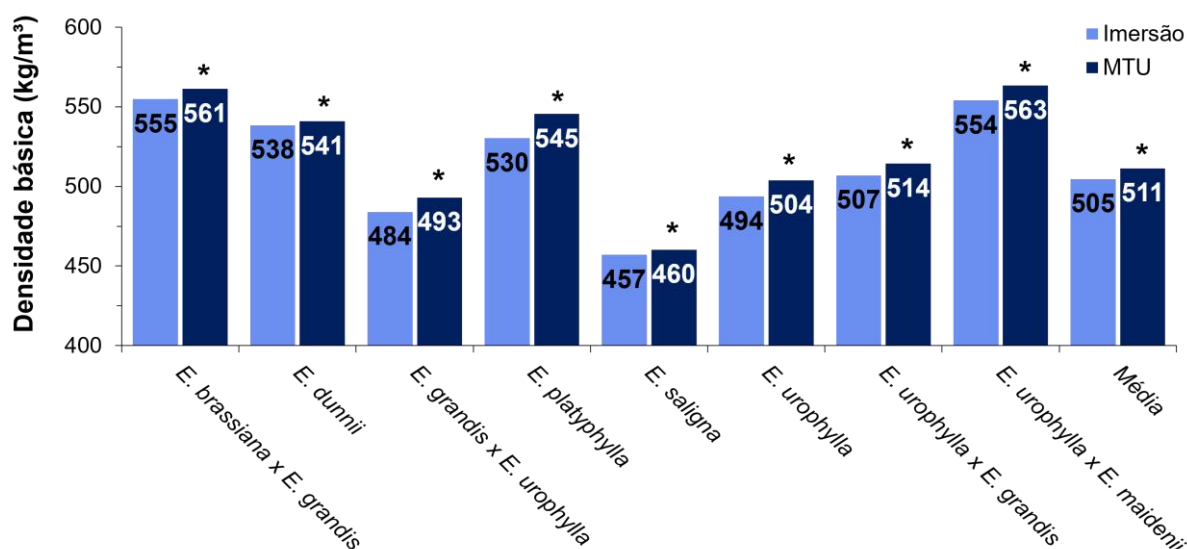


Figura 3 - Valores médios de densidade básica da madeira determinados pelos métodos da imersão e do máximo teor de umidade (MTU) para os diferentes clones de *Eucalyptus* avaliados.

Os números sobre as barras representam as médias de densidade básica (kg/m³). O (*) indica diferença significativa entre pelo teste t pareado ($p < 0,05$)

Fonte: A autora (2026).

Os materiais genéticos que apresentaram os maiores valores de densidade básica foram os híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus maidenii* e *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, com valores entre 550 e 565 kg/m³, enquanto os menores valores, entre 450 e 495 kg/m³, foram observados nos clones de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (Figura 3). Para todos os materiais avaliados, os valores obtidos pelo método do MTU foram superiores aos determinados pelo método de imersão.

As maiores diferenças entre os métodos foram verificadas para *Eucalyptus platyphylla* (15 kg/m³), *Eucalyptus urophylla* (10 kg/m³) e para os híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus maidenii* (9 kg/m³) e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus dunnii* (9 kg/m³). Essas diferenças foram, inclusive, superiores à diferença média observada entre os métodos, evidenciando que a influência do método de determinação pode variar conforme o material genético avaliado.

Os valores de densidade básica obtidos pelos métodos de imersão e do máximo teor de umidade (MTU) apresentaram forte associação linear, com coeficiente de determinação (R^2) de 91,43% e coeficiente de correlação de Pearson (r) de 0,96. A equação de regressão ajustada evidencia a elevada concordância entre os métodos, indicando que ambos produzem estimativas semelhantes da densidade básica (Figura 4).

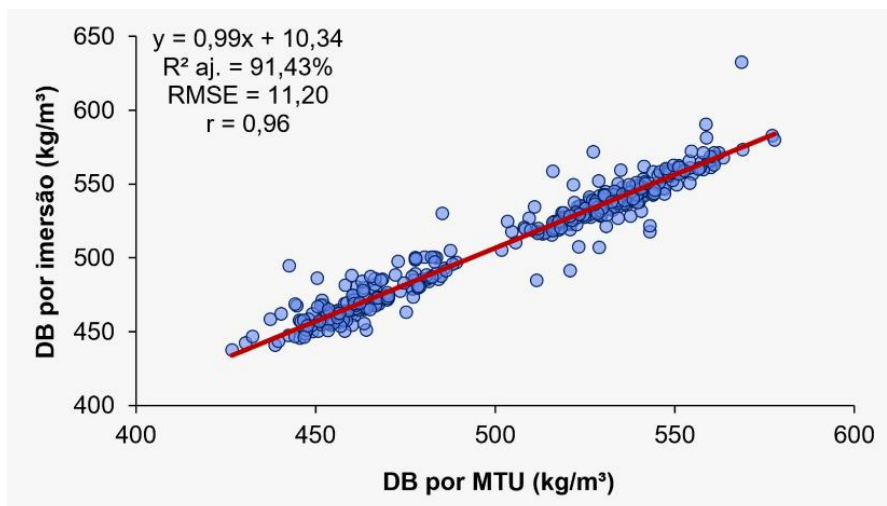


Figura 4 - Relação entre os valores de densidade básica da madeira determinados pelos métodos de imersão e do máximo teor de umidade (MTU) para clones de *Eucalyptus*.

Cada ponto representa uma árvore amostrada. A linha vermelha corresponde à regressão linear ajustada entre os métodos ($y = 0,99x + 10,34$; $R^2 = 91,43\%$)

A distribuição dos pontos ao longo da reta de regressão demonstra que ambos os métodos acompanharam de forma semelhante a variação da densidade básica entre os materiais avaliados. Apesar da elevada associação observada, os valores obtidos pelo MTU apresentaram médias superiores às determinadas pelo método de imersão, conforme observado na análise descritiva e no teste t pareado.

Os valores de densidade básica obtidos entre métodos para as três categorias de idade apresentaram resultados significativos aos seis, sete e oito anos. Entretanto, os resultados de média de cada idade foram não significativos aos sete e oito anos (Figura 5), com maiores valores aos sete anos com máximo de 521 kg/m^3 . Sendo os maiores resultados de densidade observados no método de MTU. Assim, embora a densidade da madeira esteja diretamente ligada aos fatores genéticos, ela também é influenciada pela idade (Araujo *et al.*, 2026).

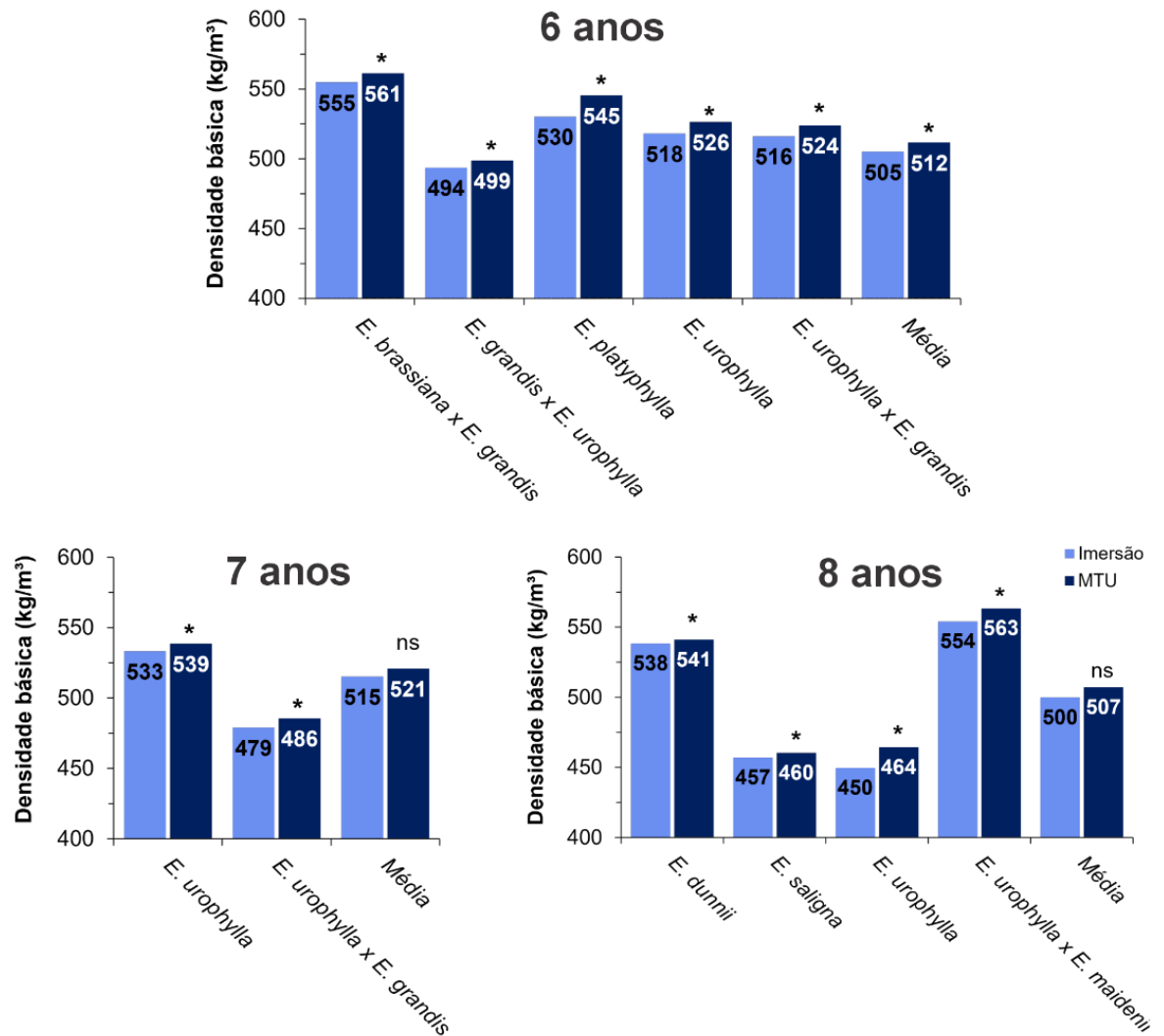


Figura 5 - Valores médios de densidade básica da madeira determinados pelos métodos da imersão e do máximo teor de umidade (MTU) para clones de *Eucalyptus* agrupados por idade (6, 7 e 8 anos).

Os números sobre as barras representam as médias de densidade básica (kg/m³). O (*) indica diferença significativa entre pelo teste t pareado ($p < 0,05$), enquanto (ns) indica ausência de diferença significativa ($p \geq 0,05$).

Fonte: A autora (2026).

As médias das densidades por posição tiveram discrepâncias maiores de acordo com o tipo de método, apesar disso a tendência de variação base-topo foi a mesma nos dois métodos (Figura 6). Além da metodologia de determinação, as variações de densidade ao longo do fuste podem estar relacionadas com a espécie, idade e condições ambientais (Boschetti *et al.*, 2020).

As maiores diferenças foram observadas na região da base e do topo da árvore, 0 e 100%, com diferença entre os métodos superior a 10 kg/m³. Essas diferenças podem ser explicadas devido ao fato de serem regiões de transição estrutural, em que na base por exercer a função de sustentação e no topo a função de suporte da copa e crescimento de ramos, apresentam densidades maiores (Conceição, 2026; Boschetti *et al.*, 2020).

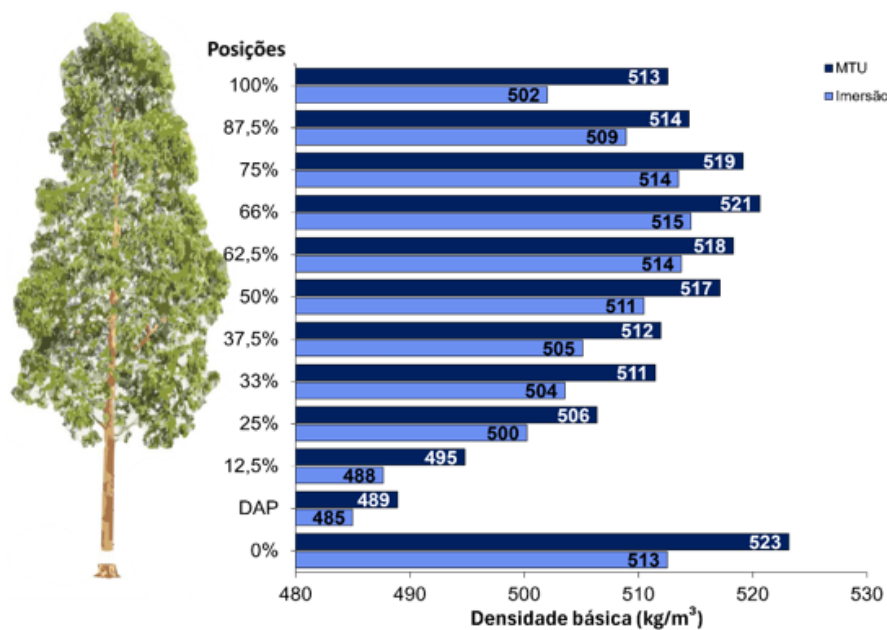


Figura 6 - Distribuição da densidade básica da madeira determinada pelos métodos da imersão e do máximo teor de umidade (MTU) ao longo do fuste de clones de *Eucalyptus*.

Os valores representam as médias de densidade básica (kg/m³) obtidas em cada posição relativa da altura comercial da árvore.

Fonte: A autora (2026).

4.2 Densidade básica determinada pela ponderação pelo volume e pela média aritmética

Os valores médios de densidade básica obtidos para os dois tipos de métodos de cálculo (média aritmética e média ponderada), utilizando os dados de densidade por imersão, mostram que a densidade básica calculada por meio da média aritmética apresentou valores muito próximos aos calculados por meio da média ponderada, com diferença de 3,41 kg/m³ (Tabela 4).

Tabela 4 - Estatística descritiva da densidade básica obtida pelas diferentes formas de cálculo e as diferenças absoluta e relativa entre os cálculos

Método	Média (kg/m ³)	Mín (kg/m ³)	Máx (kg/m ³)	DP (kg/m ³)	CV (%)	Amplitude (kg/m ³)	Dif. (kg/m ³)	Dif. (%)
Aritmética	504,64*	426,74	577,69	38,36	0,08	150,96	3,41	0,68
Ponderada	501,23	427,53	578,01	38,80	0,08	150,48		

Mín: valores mínimos de densidade básica; Máx: valores máximos de densidade básica; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Dif.: diferença entre as médias dos métodos em kg/m³ e %; *estatisticamente significativo a um nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Os resultados apresentaram um desvio padrão com diferença inferior a 1 kg/m³ e os mesmos valores de coeficiente de variação. Os valores de amplitude, diferença entre máximo e mínimo, de cada método também foram muito próximos, o que significa que os métodos de cálculo são pouco variáveis.

A média aritmética é calculada atribuindo o mesmo peso para qualquer posição da árvore, enquanto que na média ponderada é considerada a influência volumétrica de cada seção do fuste (Araujo *et al.*, 2025). Dessa forma, para este estudo, os valores de densidade básica obtidos através dos cálculos de média aritmética e média ponderada diferiram significativamente entre si.

Essa diferença nos resultados mostra que a densidade ao longo do fuste é variável não sendo recomendado que se atribua os mesmos pesos no cálculo de determinação, pois com isso a média aritmética tende a superestimar os valores da densidade (Araujo *et al.*, 2025).

Esses resultados evidenciam que a média ponderada fornece resultados mais representativos da densidade básica média da árvore, por considerar a contribuição volumétrica de cada seção do fuste. No entanto, sua aplicação em escala operacional é limitada pela maior complexidade do método e pela demanda de tempo para a realização da cubagem e dos cálculos volumétricos, enquanto que a média aritmética é mais usual por ser uma alternativa mais simples (Nörnberg *et al.*, 2023).

Os materiais genéticos que apresentaram maiores resultados de densidade são os híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus maidenii* e *Eucalyptus brassiana* x *Eucalyptus grandis*, com valores entre 554 e 557 kg/m³, enquanto que os valores mais baixos foram dos clones de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* x

Eucalyptus urophylla, com valores variando entre 456 a 484 kg/m³ (Figura 7). E apenas o *Eucalyptus platyphylla* que não apresentou diferenças significativas dos resultados entre os métodos de cálculo de determinação de densidade.

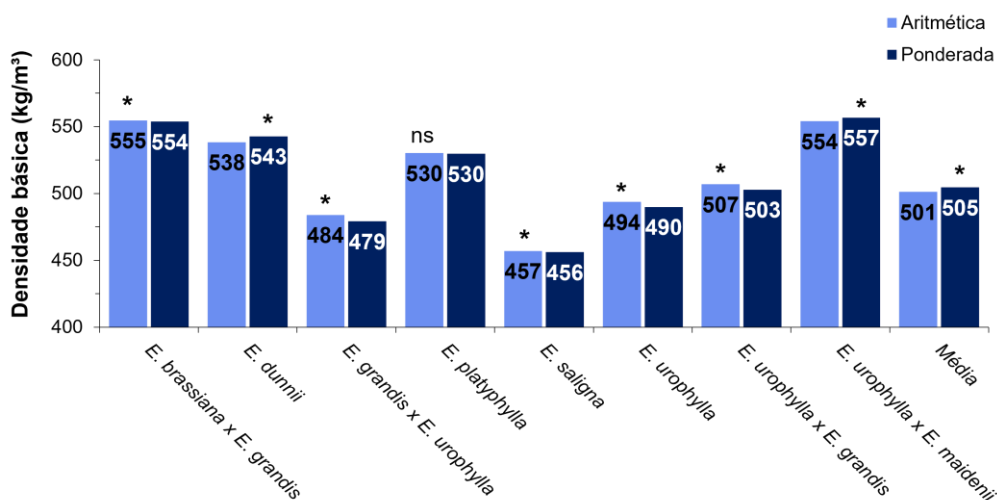


Figura 7 - Valores médios de densidade básica da madeira calculados pelas médias aritmética e ponderada para os diferentes clones de *Eucalyptus* avaliados.

Os números sobre as barras representam as médias de densidade básica (kg/m³). O (*) indica diferença significativa pelo teste t pareado ($p < 0,05$), enquanto (ns) indica ausência de diferença significativa ($p \geq 0,05$).

Fonte: A autora (2026).

Os valores de densidade básica obtidos pelos métodos de cálculo de média aritmética e média ponderada apresentaram forte associação linear, com coeficiente de determinação (R^2) de 98,35% e coeficiente de correlação de Pearson (r) de 0,99. A equação de regressão ajustada evidencia a elevada concordância entre os métodos, indicando que ambos produzem estimativas semelhantes da densidade básica (Figura 8).

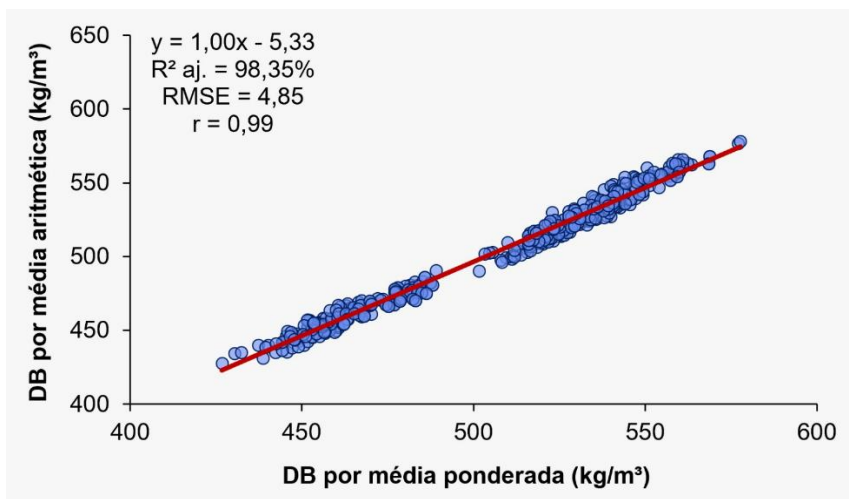


Figura 8 - Relação entre os valores de densidade básica da madeira calculados por meio das médias ponderada e aritmética para clones de *Eucalyptus*.

Cada ponto representa uma árvore amostrada. A linha vermelha corresponde à regressão linear ajustada entre as formas de cálculo ($y = 1,0034x - 5,3255$; $R^2 = 0,9835$)

A elevada proximidade dos pontos à reta de regressão demonstra que a média aritmética e a média ponderada produzem estimativas muito semelhantes da densidade básica da árvore. Dessa forma, para os materiais avaliados, a adoção da média aritmética pode representar uma alternativa operacionalmente mais simples, sem perdas expressivas na estimativa da densidade básica média.

As densidades de acordo com as idades também apresentaram valores significativos para a maioria dos resultados. O clone de *Eucalyptus platyphylla*, amostrado aos seis anos, foi o que apresentou resultados não significativos, bem como a média das idades aos sete e oito anos (Figura 9). Apesar disso, tanto para a idade de seis anos quanto para sete anos, a diferença prática entre os métodos foi de 6 kg/m^3 , enquanto que aos oito anos a diferença foi de 2 kg/m^3 .

Esse comportamento mostra que nos primeiros anos a densidade tende ter maiores variações, e que com a maturidade ela tende a se estabilizar, não apresentando diferenças significativas (Araujo *et al.*, 2025; Boschetti *et al.*, 2020).

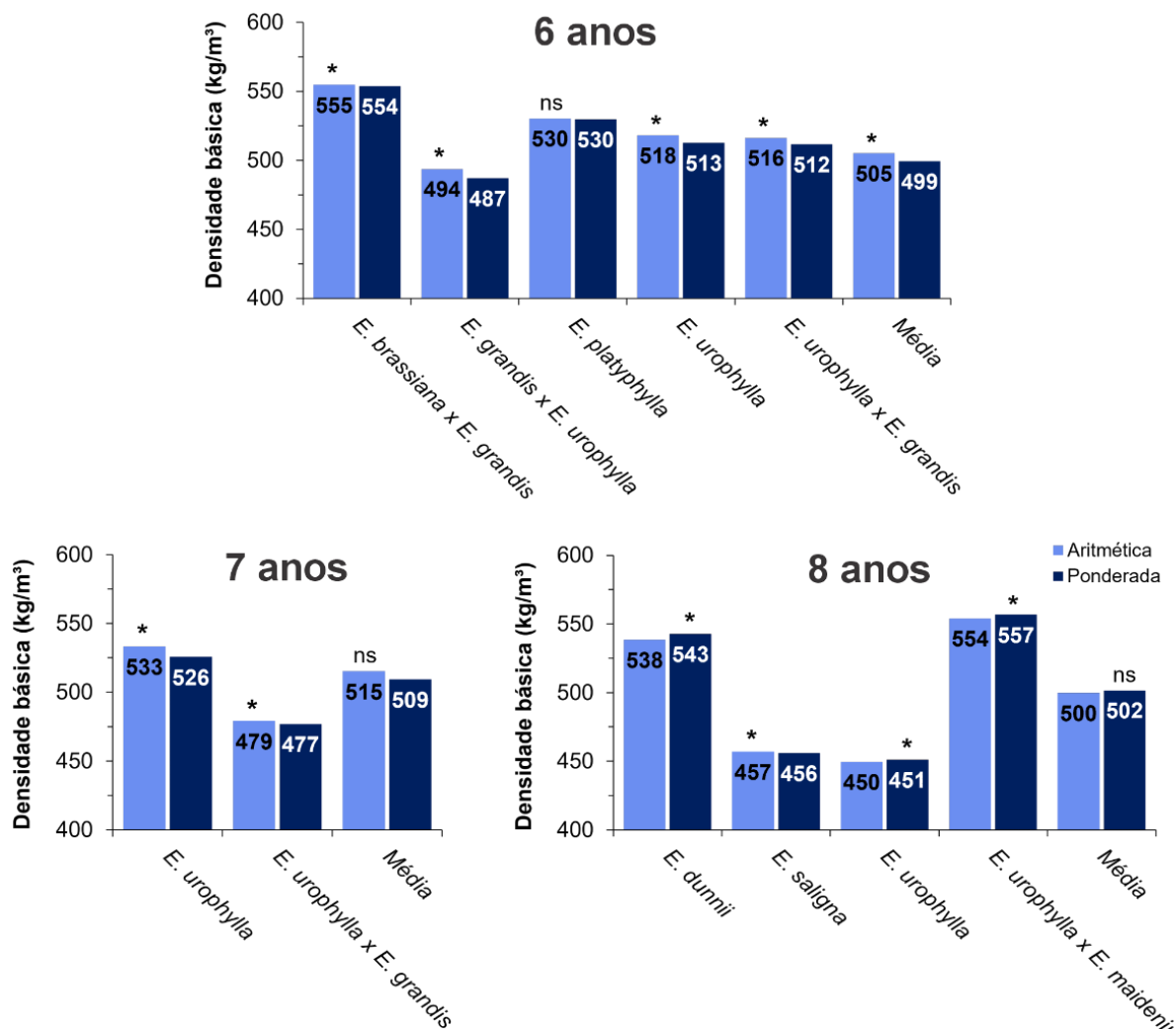


Figura 9 - Valores médios de densidade básica da madeira calculados por média aritmética e média ponderada para clones de *Eucalyptus* agrupados por idade (6, 7 e 8 anos).

Os números sobre as barras representam as médias de densidade básica (kg/m³). O (*) indica diferença significativa entre pelo teste t pareado ($p < 0,05$), enquanto (ns) indica ausência de diferença significativa ($p \geq 0,05$).

Fonte: A autora (2026).

A determinação da densidade básica calculada por meio da média aritmética não houve muitas diferenças em comparação a determinação calculada pela média ponderada de acordo com os valores médios de densidade por seção (Figura 10). Sendo a maior diferença observada na base, posição 0%, com quase 14 kg/m³ de diferença de um método para o outro. Para as demais posições a tendência de

variação base-topo foi a mesma nos dois métodos.

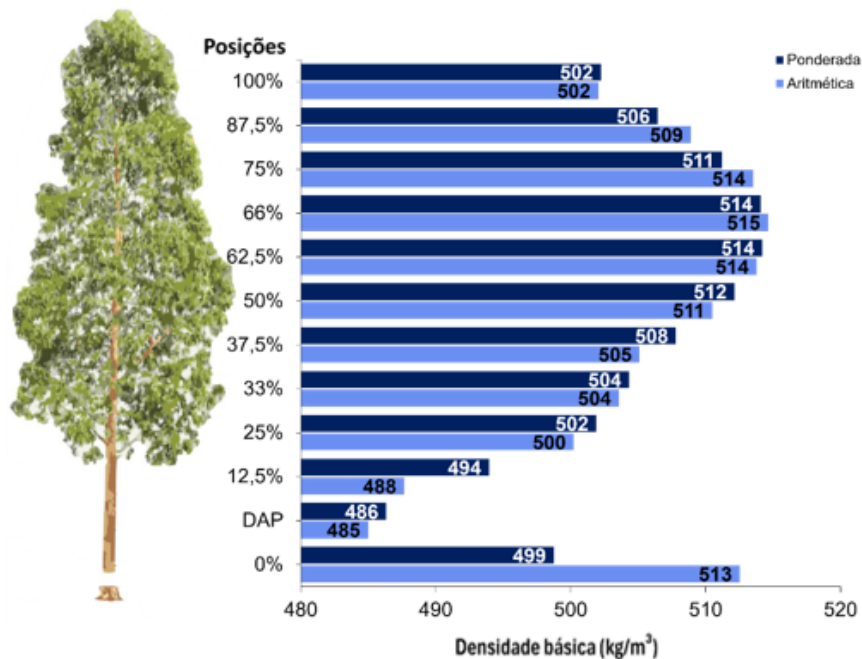


Figura 10 - Distribuição da densidade básica da madeira calculada pelas médias aritmética e ponderada ao longo do fuste de clones de *Eucalyptus*.

Os valores representam as médias de densidade básica (kg/m^3) obtidas em cada posição relativa da altura comercial da árvore

Fonte: A autora (2026).

A densidade básica da madeira é um parâmetro complexo e que para sua determinação existem várias metodologias que podem ser empregadas a depender do objetivo do estudo, bem como da viabilidade de cada método. Além disso, deve-se levar em consideração que a densidade pode ser influenciada de acordo com idade, tipo da espécie e fatores ambientais em que as árvores se desenvolveram.

A escolha do método de determinação exerceu maior influência sobre os valores de densidade básica do que a escolha da forma de cálculo. Os resultados obtidos contribuem para a compreensão dos efeitos metodológicos na determinação da densidade básica da madeira e fornecem orientações para a seleção de procedimentos mais adequados em estudos de qualidade da madeira e aplicações no setor florestal.

5. CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que tanto o método de determinação quanto a forma de cálculo influenciam os valores de densidade básica da madeira de eucalipto. Na comparação entre os métodos de determinação, o método do máximo teor de umidade (MTU) apresentou valores médios superiores aos obtidos pelo método da imersão, com diferença de 6,71 kg/m³, correspondente a 1,31%, confirmando a hipótese de superestimação do MTU em relação à imersão.

Embora tenha sido observada diferença estatística significativa entre os métodos, os resultados apresentaram forte associação linear, indicando que ambas as metodologias acompanham de forma semelhante a variação da densidade básica entre os materiais avaliados.

Na comparação entre as formas de cálculo, a média aritmética apresentou valores ligeiramente superiores à média ponderada, com diferença média de 3,41 kg/m³ (0,68%). Apesar da significância estatística observada, a elevada concordância entre as estimativas sugere que a média aritmética pode representar adequadamente a densidade básica média da árvore para os materiais avaliados, constituindo uma alternativa operacionalmente mais simples.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, ELIENE MORAIS. **Determinação da densidade da madeira de eucalipto vermelho (*Eucalyptus camaldulensis*)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 7., 2023, Florianópolis. Anais [...] Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia da Madeira, 2023.

ALARCÓN, PC, FERNÁNDEZ, ME, PATHAUER, P., HARRAND, L., OBERSCHELP, GPJ, MONTEOLIVA, S., & MARTINEZ-MEIER, A. (2019). Comparação de metodologias para estimativa da densidade da madeira e suas implicações na estimativa de parâmetros genéticos em três espécies do gênero *Eucalyptus*. **Revista da Faculdade de Agronomia**, 117 (2), 175-183. <https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/7333>

ANDRADE, F. W. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; MOUTINHO, V. H. P. Influence of wood physical properties on charcoal from *Eucalyptus* spp. **Floresta e Ambiente, Seropédica**, v. 25, n. 3, e20150176, 2018. DOI: 10.1590/2179-8087.017615.

ARANTES, B. S.; DE SOUZA, A. J.; DA SILVA, R. G. C.; DE SOUZA, I. C. G.; DOS SANTOS, V. B.; NUNES, S. M. V.; QUEIROZ, E. P. P.; CASTOR NETO, T. C.; OLIVEIRA, M. P.; VIDAURRE, G. B. **Impact of determination method and sample type on basic wood density analysis and its implications for Eucalyptus pulp production**. *Holzforschung*, v. 79, p. 1, 2025.

ARAUJO, S. L., NUNES, S. M. V., QUEIROZ, E. P. P., SILVA, R. G. C., SANTOS, V. B., SILVA, J. G. M., SOUZA, A. J., SANTOS, O. P., SILVA, P. H. M., & VIDAURRE, G. B. (2025). A densidade básica aritmética difere da ponderada em madeiras de eucalipto? **Scientia Forestalis**, 53, e4116. <https://doi.org/10.18671/scifor.v53.10>

ARAUJO, S. L., NUNES, S. M. V., SANTOS, V. B., NETO, T. C. C., CONCEIÇÃO, G. J., SILVA, R. G. C., SANTOS, O. P., SOUZA, A. J., SILVA, P. H. M., & VIDAURRE, G. B. (2026). Amplitude da densidade da madeira entre árvores amostradas de *eucalyptus* e *corymbia* no brasil: uma revisão de literatura. **Scientia Forestalis**, 54, e4155. <https://doi.org/10.18671/scifor.v54.01>

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D2395- 7. **Standart Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials**. Phildelphia, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: madeira: determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: 6 p. 2003.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P.; CRUZ, D. E. A.; LIMA, F. Z.; CANALE, A. Comparação de três diferentes métodos para a determinação da densidade básica de cavacos de madeira. In: VI **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira (CBCTEM)**, 2024, Pelotas. Anais... Pelotas: SBCTEM, 2024.

BOSCHETTI, W. T. N.; VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M. Densidade e sua variação na madeira de eucalipto. In: VIDAURRE, G. B.; SILVA, J. G. M.; MOULIN, J. C.; CARNEIRO, A. C. O. Qualidade da madeira de eucalipto proveniente de plantações no Brasil. Vitória: **Edufes**, p. 132-170, 2020.

CONCEIÇÃO, G. J. **Densidade da madeira de eucalipto: variabilidade, estratégias de amostragem e otimização**. 2026. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) — Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2026.

COUTO, A. M. et al. Amostragens longitudinais alternativas para a determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus* sp. **Floresta e Ambiente, Seropédica**, v. 19, n. 2, p. 184-193, 2012.

FOELKEL, C. Qualidade da madeira do eucalipto – reflexões acerca da utilização da densidade básica como indicador de qualidade da madeira no setor de base florestal. In: FOELKEL, C. **Eucalyptus online book**, Brasil, cap. 41, p. 199, 2015.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual 2025**. Brasília, DF: IBÁ, 2025. Disponível em: <https://iba.org/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

JAMMAL FILHO, F. A. **Determinação da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. a idades passadas com uso da técnica de atenuação de radiação gama.** 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

NÖRNBERG, L. V., CARDOSO, G. V., FERNANDES, M. A. M., SANTOS, O. P., & PIMENTEL, N. (2023). Otimização de pontos amostrais ao longo do fuste pra determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Nativa**, 11(1), 128-133. <http://doi.org/10.31413/nativa.v11i1.15068>.

RAMOS, R. D., LONGUE JÚNIOR, D., GOMES, F. J. B., & MEDEIROS, NATIELLY C.G.DE. (2024). Influência da densidade básica e da composição química da madeira para a indústria de polpa celulósica: um estudo de caso. **Ciência Florestal**, 34(3), e85566. <https://doi.org/10.5902/1980509885566>

RODRIGUES, G. S. D. S. C., ROSS, J. L. S., TEIXEIRA, G., SANTIAGO, O. R. P. L., & FRANCO, C. (2024). **Eucalipto no Brasil**. Expansão geográfica e impactos ambientais.

SCANDINAVIAN PULP, PAPER, AND BOARD (TAPPI). **Scan-CM 43:95. Wood chips for pulp production**. Basic density, Stockholm, 1995.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). T 258 om-16. **Basic density and moisture content of pulpwood: test method**. Atlanta: 6 p. 2016.