



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRUNO SANGALI ARANTES

**O RESULTADO DA ANÁLISE DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA É
INFLUENCIADO PELO MÉTODO DE DETERMINAÇÃO E TIPO DE
AMOSTRA?**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2024

BRUNO SANGALI ARANTES

**O RESULTADO DA ANÁLISE DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA É
INFLUENCIADO PELO MÉTODO DE DETERMINAÇÃO E TIPO DE
AMOSTRA?**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração de Produtos Florestais.

Orientadora: Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre Dambroz.

Coorientadores: Dra. Izabel Christina Gava de Souza e Dr. João Gabriel Missia da Silva.

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2024

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e
elaborada pelo autor

Arantes, Bruno Sangali, 1998-

A662r O resultado da análise da densidade básica da madeira é influenciado pelo
método de determinação e tipo de amostra? / Bruno Sangali Arantes. - 2024.
57 f. : il.

Orientadora: Graziela Baptista Vidaurre.

Coorientadores: Izabel Christina Gava de Souza, João Gabriel Missia da Silva.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito
Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Produtos Florestais. 2. Indústria Madeireira. 3. Eucalipto. 4. Madeira -
Pesquisa. I. Vidaurre, Graziela Baptista. II. de Souza, Izabel Christina Gava. III. da
Silva, João Gabriel Missia. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

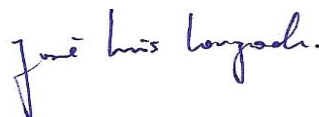
CDU: 630

O RESULTADO DA ANÁLISE DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA É INFLUENCIADO PELO MÉTODO DE DETERMINAÇÃO E TIPO DE AMOSTRA?

Bruno Sangali Arantes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 27 de junho de 2024.



Prof. Dr. José Luís Penetra Cerveira Louzada (Examinador externo)
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro



Dr. Tiago Edson Simkunas Segura (Examinador externo)
Suzano S.A



Dr^a. Thayanne Caroline Castor Neto (Examinadora externa)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Djeison Cesar Batista (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Profa. Dra. Graziela Baptista Viduarre Dambroz (Orientadora)
Universidade Federal do Espírito Santo

À Antonia Lazaro Sangalli, Dona Toninha (*in memoriam*) e a
Ozonia Sangali Arantes e Reinaldo Lino Arantes.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a São Judas Tadeu, por todas as bênçãos concedidas, proteção, força e livramento. Por me fazerem firme para superar os momentos difíceis e de adversidade.

À minha família, meus pais Ozonia Sangali Arantes e Reinaldo Lino Arantes e minha irmã, Bianca Sangali Arantes, são em vocês em que me espelho para seguir almejando mais e retribuir 1% de tudo que fazem por mim. Agradeço por acreditarem, incentivarem, motivarem e sempre torcerem por mim, saber a sorte do lar que tenho sempre me tornou melhor e mais forte.

À Thaís Gonçalves Tavares por todo o apoio, companheirismo, amor e carinho ao longo desses anos, por sempre estar presente quando mais precisei, me incentivar, aconselhar e ser sempre um lugar de paz.

À Universidade Federal do Espírito Santo, ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e ao Núcleo de Pesquisa em Qualidade da Madeira pela infraestrutura disponibilizada e oportunidade de desenvolver pesquisa com qualidade. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa concedida.

Ao “Projeto MAIDAI”, realizado em parceria entre a Universidade Federal do Espírito Santo e a Suzano S.A. Participar de um projeto desta grandeza, envolvendo diversas pesquisas e pesquisadores, me possibilitou oportunidades que me fizeram evoluir pessoal, técnica e profissionalmente de forma singular.

À empresa Suzano S.A e seus colaboradores, pela disponibilidade, oportunidade e financiamento de viagens e visitas para a realização deste trabalho. Agradeço em especial, ao Leandro de Siqueira, por viabilizar todas as oportunidades obtidas com o projeto e ao Aguinaldo José de Souza, por todos os ensinamentos, trocas de informações, debates técnicos, conselhos e trocas para a realização deste trabalho.

À minha orientadora Prof. Dra. Graziela Baptista Vidaurre, meus profundos agradecimentos e admiração. Agradeço pela oportunidade, confiança, paciência, incentivo, ensinamentos, direcionamentos e ideias compartilhadas. Conviver com sua dedicação e empenho ao longo desses anos foi inspirador. Obrigado pela amizade.

À Dra. Izabel Christina Gava de Souza (Suzano S.A.) e ao Dr. João Gabriel Missia da Silva (Sesi/Vale) pela orientação, disponibilidade, ensinamentos, direcionamento e ideias compartilhadas. As considerações feitas enriqueceram muito o trabalho.

Aos membros da banca, pela prontidão, dedicação, consideração e contribuição para o trabalho.

Aos meus amigos e colegas de pesquisa Paulo Roberto Marcelino, Érica Queiroz, Sâmara Nunes, Gustavo Jaske, Nauan Cirilo, Vaniele Bento, Stéffany Lima, Udson Barros Júnior, Thayanne Neto e Renata Guilherme, pelos momentos de descontração, colaboração, trocas e parceria nas pesquisas.

À ajuda e disponibilidade dos estagiários do NUQMAD, Gabriela Gimenez, Raquel Bello e Paulo Roberto. Ao apoio do Sr. Eley Palácio Constantino no preparo das amostras.

RESUMO

ARANTES, Bruno Sangali. **O resultado da análise da densidade básica da madeira é influenciado pelo método de determinação e tipo de amostra?** 2024. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientadora: Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre. Coorientador(es): Dra. Izabel Christina Gava de Souza e Dr. João Gabriel Missia da Silva.

A densidade básica da madeira é um parâmetro crucial para a viabilidade de indústrias do setor florestal, especialmente na produção de polpa celulósica. No entanto, o tempo necessário para saturar as amostras de madeira antes das análises ainda representa um desafio significativo. As normas técnicas existentes possuem lacunas que resultam na adoção de diferentes amostras, métodos de saturação e metodologias para determinar a densidade básica, gerando variações nos resultados. Este estudo teve como objetivo analisar o efeito de diferentes métodos, tipos de amostras e parâmetros de saturação na determinação da densidade básica da madeira de eucalipto e como eles interferem na predição de parâmetros da indústria de polpa celulósica. O estudo envolveu a análise de cinco clones de eucalipto (*E. grandis*, *E. urophylla* e seus híbridos), com 6,8 anos de idade, provenientes de um talhão experimental em São Miguel Arcanjo, São Paulo. Foram coletadas cinco árvores por clone, amostradas em diferentes posições ao longo do fuste comercial, gerando discos e cavacos. A densidade básica dos discos foi determinada pelo método da balança hidrostática, já os dos cavacos pelo método da balança hidrostática e pelo método do máximo teor de umidade, com a saturação verificada a cada três dias, exceto nos testes 2 e 3, que iniciaram no quarto dia, utilizando metodologias de massa constante e submersão. A forma de saturação dos cavacos influencia significativamente os valores de densidade básica obtidos pelo método do máximo teor de umidade, com diferenças de até 28,27 kg/m³. Embora os testes de saturação realizados não tenham impactado significativamente os valores finais de densidade básica, os testes 2 e 3 reduziram o tempo de saturação para seis dias, enquanto os demais variaram entre 9 e 15 dias. A diferença na densidade básica entre cunhas e cavacos foi significativa apenas para o clone

C2, com uma diferença média de até 10,78 kg/m³ entre todos os clones. O teste 3, utilizando vácuo, pressão e temperatura de 100°C, apresentou os melhores resultados. O tipo de amostra, critério de saturação e método de determinação mostrou ser um fator de variabilidade da densidade básica da madeira e essa variabilidade ocasionou em consequências na predição do consumo específico.

Palavras-chave: Tempo de saturação; Testes de saturação; Amostras; Consumo específico.

ABSTRACT

ARANTES, Bruno Sangali. **Is the result of the wood basic analysis influenced by the determination method and the sample type?** 2024. Dissertation (Master's degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre. Co-advisors: Dra. Izabel Christina Gava de Souza e Dr. João Gabriel Missia da Silva.

Wood basic density is a crucial parameter for the viability of industries in the forestry sector, particularly in pulp production. However, the time required to saturate wood samples before analysis remains a significant challenge. Existing technical standards have gaps that lead to the adoption of different samples, saturation methods, and methodologies for determining basic density, resulting in variations in the outcomes. This study aimed to analyze the effect of different methods, sample types, and saturation parameters on the determination of the basic density of eucalyptus wood and how they interfere with the prediction of parameters in the pulp industry. The study involved the analysis of five eucalyptus clones (*E. grandis*, *E. urophylla*, and their hybrids) aged 6.8 years, originating from an experimental plot in São Miguel Arcanjo, São Paulo. Five trees per clone were collected, sampled at different positions along the commercial stem, generating discs and chips. The basic density of the discs was determined by the hydrostatic balance method, while the chips were analyzed using both the hydrostatic balance method and the maximum moisture content method, with saturation checked every three days, except for tests 2 and 3, which began on the fourth day, using constant mass and submersion methodologies. The results showed that the saturation method significantly influences the basic density values obtained by the maximum moisture content method, with differences of up to 28.27 kg/m³. Although the saturation tests did not significantly impact the final basic density values, tests 2 and 3 reduced the saturation time to six days, while the others varied between 9 and 15 days. The difference in basic density between wedges and chips was significant only for clone C2, with an average difference of up to 10.78 kg/m³ across all clones. Test 3, using vacuum, pressure, and a

temperature of 100°C, produced the best results. The sample type, saturation criterion, and determination method proved to be factors of variability in wood basic density, and this variability led to consequences in the prediction of specific consumption.

Keywords: Saturation Time; Saturation Tests; Samples; Specific Consumption.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 Densidade básica da madeira e seus efeitos na indústria de polpa celulósica.....	13
3.1.1 Densidade básica da madeira de <i>E. grandis</i> , <i>E. urophylla</i> e híbridos.....	14
3.2 Normas para determinação da densidade básica da madeira.....	16
3.3 Variabilidade da densidade básica da madeira de eucalipto.....	19
3.4 Tipo de amostra e métodos para determinação da densidade básica.....	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Amostragem do material.....	22
4.2 Determinação da densidade básica por cunhas.....	24
4.3 Determinação da densidade básica por cavacos e testes de saturação.....	24
4.4 Consumo específico de madeira.....	26
4.5 Análise dos dados.....	29
5 RESULTADOS.....	30
5.1 Umidade e densidade básica da madeira (método do máximo teor de umidade) ao longo dos dias de saturação em água.....	31
5.2 Comparação da densidade básica da madeira determinada por cunhas e cavacos: método da balança hidrostática.....	36
5.3 Densidade básica de cavacos: comparação dos métodos da balança hidrostática e máximo teor de umidade.....	38
5.4 Estimação do consumo específico de madeira por diferentes métodos de saturação dos cavacos e tipos de amostra.....	39
6 DISCUSSÃO.....	42
6.1 Umidade e densidade básica da madeira (método do máximo teor de umidade) ao longo dos dias de saturação e efeito dos testes.....	42

6.2 Densidade básica da madeira determinada por cunhas e cavacos....	44
6.3 Método de determinação da densidade básica da madeira: máximo teor de umidade e balança hidrostática.....	44
6.4 Estimação do consumo específico de madeira por diferentes métodos de saturação dos cavacos e tipos de amostras.....	45
7 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva florestal brasileira cresce anualmente em tamanho de áreas plantadas e importância econômica. As áreas de plantios florestais cresceram 0,3% em 2022 em relação a 2021, totalizando 9,94 milhões de hectares, em que 76% são cultivo de eucalipto (Indústria Brasileira de Árvores, 2023). Diante da elevada demanda por matéria-prima, torna-se imprescindível otimizar sua utilização, tendo a qualidade da madeira um papel crucial nesse processo.

A densidade básica da madeira é um parâmetro importante para se compreender a qualidade da madeira, porém não a única, pois está correlacionada a outras propriedades. A densidade da madeira também está relacionada aos processos e rendimentos industriais, impactando o desempenho operacional e financeiro das indústrias, afetando o consumo específico de madeira nas fábricas. Por isso, é um dos parâmetros da qualidade da madeira mais utilizados nos programas de melhoramento genético (Shimoyama; Barrichello, 1991; Gomide; Fantuzzi Neto; Regazzi, 2010; Pádua *et al.*, 2015; Silva, 2019).

A determinação da densidade básica pode ser considerada simples, porém, para se chegar a um resultado médio representativo para uma população amostral de árvores e sua variabilidade, a amostragem se torna grande, complexa, cara e demorada (Foelkel, 2015). Os métodos de determinação laboratoriais disponíveis se baseiam na relação entre a massa e o volume de material, e por causa do aspecto operacional (tempo, dimensões e ações) podem impactar negativamente o controle preciso dos resultados (Santos; Gomide; Sousa, 2009; Foelkel, 2015; Boschetti; Vidaurre; Silva, 2020).

Empresas e laboratórios têm usado diferentes tipos de amostras, métodos e tempos de saturação para a determinação da densidade básica da madeira, mediante a necessidade das fábricas pela rápida obtenção de dados e conhecimento da densidade da madeira utilizada no processo e para a seleção de materiais nos programas de melhoramento genético, além da alta demanda por dados advindos da pesquisa. As principais indústrias madeireiras do Brasil utilizam diferentes tratamentos de saturação das amostras de madeira para a

determinação da densidade básica, com o uso de vácuo, temperatura e pressão, visando diminuir o tempo de saturação.

O tempo de saturação das amostras em água é um dos grandes gargalos na determinação da densidade básica da madeira, pois dependendo do tipo de amostra, esse período pode demorar até meses para a completa saturação e aptidão à realização do ensaio. As normas existentes abordam diferentes métodos de determinação, assim como tipos de amostras e métodos de saturação da madeira, porém, tornam-se subjetivas em relação ao tempo de saturação, não possuindo definição em relação aos critérios para se considerar o material apto a determinação da densidade básica.

As normas mais utilizadas que prescrevem a realização do ensaio de determinação da densidade básica da madeira são a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas técnicas, 2003), a 258 om-94 (*Technical Association of Pulp and Paper Industry*, 2006), a CM 43:95 (*Scandinavian Pulp, Paper, and Board Testing Committee*, 1995) e a D2395-14 (*American Society for Testing and Materials*, 2017). Dentre elas, apenas a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003) prescreve a utilização do vácuo, com intuito de reduzir o tempo de saturação das amostras e do método do máximo teor de umidade para a determinação da densidade básica.

Além da variação dos tratamentos de saturação, são utilizados os métodos da balança hidrostática e do máximo teor de umidade para a determinação da densidade básica da madeira. Diante das variações existentes nas empresas do setor florestal brasileiro dos tratamentos para saturação de cavacos, bem como pela escassez de informações sobre a influência dos métodos, tipos de amostras e tempo de saturação e, por conseguinte, nos resultados de densidade básica da madeira, os resultados desta pesquisa serão importantes para o entendimento do efeito dessas variáveis na densidade básica da madeira e assim possuir mais precisão e rapidez para estimar parâmetros industriais como consumo específico de madeira, recomendação clonal e rendimento do processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o efeito de diferentes métodos, tipos de amostras e parâmetros de saturação na determinação da densidade básica da madeira de eucalipto e como eles interferem na predição de parâmetros da indústria de polpa celulósica.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar o tempo de saturação de acordo com diferentes parâmetros e a densidade básica para os dois critérios de saturação dos cavacos (massa constante e submersão), além do efeito desses tratamentos nos resultados de densidade básica da madeira.
- Comparar a densidade básica de cavacos calculada pelo método do máximo teor de umidade, utilizando-se dois critérios de saturação: massa constante e submersão.
- Comparar a densidade básica de cavacos calculada pelos métodos do máximo teor de umidade e balança hidrostática.
- Comparar a densidade básica determinada por cunhas e cavacos calculada pelo método da balança hidrostática.
- Estimar o efeito dos diferentes valores de densidade básica no consumo específico de madeira e seu efeito financeiro.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Densidade básica da madeira e seus efeitos na indústria de polpa celulósica

A densidade básica da madeira expressa a relação entre a massa anidra e o volume saturado. Sendo um parâmetro fundamental na avaliação da qualidade da matéria-prima para as mais diversas utilizações como produção de polpa e papel, painéis, carvão vegetal, estruturas, entre outros (Batista; Klitzke; Santos, 2010; Boschetti; Vidaurre; Silva, 2020). De acordo com Santos (2010) a densidade é uma propriedade física importante ao estudar a qualidade da madeira, por influenciar fortemente outras propriedades do lenho, afetar diretamente os produtos e também, ser influenciada por inúmeros fatores inerentes à idade, gênero, espécie e desenvolvimento das árvores.

A literatura apresenta estudos correlacionando a densidade com a produção e rendimento de celulose, propriedades físicas e mecânicas, teores de lignina, dimensões das fibras, espessura da parede, volume dos vasos, arranjo dos elementos anatômicos, ambiente, entre outros fatores (Foekel; Brasil; Barrichelo, 1971; Bruder, 2012; Baldin *et al.*; 2020; Santos *et al.*, 2021; Neto *et al.*, 2024). Dada a sua importância, a densidade básica da madeira pode limitar a escolha do material genético em programas de melhoramento genético, influenciar no manejo e definir a idade de corte (Ribeiro; Zani Filho, 1993; Arantes *et al.*; 2016), bem como, estabelecer parâmetros industriais, como uso de reagentes, rendimento, quantidade de resíduos sólidos gerados no licor negro e consumo específico de madeira (Gonzalez *et al.*, 2014).

A densidade básica, e demais propriedades da madeira, variam entre árvores e dentro de uma mesma árvore (Boschetti; Vidaurre; Silva, 2020). Devido à alta variabilidade da madeira, os resultados encontrados podem ter interferência expressiva da amostragem adotada, tipos de amostras e métodos de determinação, ocasionando a possibilidade de erros significativos. Ressalta-se a importância da busca por maior precisão e confiabilidade das análises, além de não considerar a densidade como fator único de interpretação da qualidade da madeira (Downes *et al.*, 1997; Foelkel, 2015; Boschetti; Vidaurre; Silva, 2020).

Conhecendo a importância da densidade para o setor de celulose e a complexidade em torno da propriedade, Gomide, Fantuzzi Neto e Regazzi (2010) apresentaram como resultado significativo a correlação entre a densidade básica e o consumo de madeira, concluindo pela sua importância nos programas de melhoramento genético.

O consumo específico de madeira por tonelada de polpa celulósica constitui uma característica fundamental no setor de celulose e papel, sendo majoritariamente influenciado pela densidade básica da madeira e pelo rendimento depurado em celulose (Foelkel; Zvinakevicius; Andrade, 1978). O rendimento depurado de celulose representa a quantidade de celulose que é obtida, após a eliminação da lignina e demais constituintes não fibrosos da madeira, em outras palavras, é a relação entre a massa absolutamente seca de celulose depurada e massa absolutamente seca de madeira.

Queiroz *et al.*, (2004) reportaram o efeito da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. A densidade impacta na demanda de álcali para produção da polpa, rendimento depurado, viscosidade, alvura e número Kappa. Para a produção de polpa e papel, madeiras de menor densidade apresentam vantagens e desvantagens, quando comparadas a madeiras de maior densidade, sendo importante achar o ponto ótimo junto a tecnologia da fábrica (Queiroz *et al.*, 2004).

Neste contexto, Gomide *et al.*, (2005), afirmaram que madeiras de densidade mais baixa, quando comparadas a de alta densidade, necessitam de menor carga alcalina, possuindo melhor rendimento, viscosidade e menor teor de sólidos. Em contrapartida, resultam em maior consumo específico de madeira.

3.1.1 Densidade básica da madeira de *E. grandis*, *E. urophylla* e híbridos

O *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ocorre em regiões da Austrália que variam de 0 a 1000 m de altitude, em regiões de clima subtropical e temperado, temperaturas médias anuais variando de 3 a 30°C, com regimes de chuva estacional de verão e precipitação variando de 1000 a 1700 mm (Boland *et al.*, 1992; Nielsen, 1998). Tornou-se uma espécie muito utilizada no Brasil, devido a seu elevado ritmo de crescimento e rendimento volumétrico (Bertola, 2004).

Já o *Eucalyptus urophylla* S.T Blake é uma espécie que ocorre na Indonésia e em ilhas ao norte da Oceania. Sua ocorrência natural é em regiões próximas a 500 metros de altitude, mas sendo encontrado também até 3000 metros, de clima subtropical úmido, com temperaturas médias anuais entre 10 e 29°C, e precipitação anual por volta de 1000 a 1500 mm. Devido a sua alta plasticidade, adaptando-se a tipos de solo, clima e altitude discrepantes, ao longo dos anos a espécie popularizou-se no Brasil, sendo plantada intensivamente em programas de melhoramento genético (Boland *et al.*, 1992; Bertola, 2004).

A hibridação do gênero *Eucalyptus* possui extrema importância para o setor florestal, sendo fundamental para os programas de melhoramento genético, visando vantagem competitiva. A técnica permite a antecipação da idade de corte, maior produção e qualidade da madeira, maior rendimento e adaptabilidade do material, selecionando características desejáveis e o tornando melhor para a silvicultura e indústria (Souza, 2008; Brisola; Demarco, 2011). Neste contexto, destaca-se os híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, devido à alta produtividade no campo, plasticidade, crescimento rápido, excelentes características de qualidade da fibra e bom desempenho na produção de polpa e papel (Bertolucci; Rezende; Penchel, 1993; Bassa *et al.*, 2007).

Devido à importância das espécies para o setor florestal, assim como de seus híbridos, há uma vasta coletânea de trabalhos nos quais a densidade básica desses materiais foi abordada. Brasil, Veiga e Mello (1979), estudaram a madeira de *E. grandis* aos 3 anos e apresentaram valores médios de densidade básica de 414 kg m⁻³. Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005), reportaram para cinco clones de *E. grandis*, densidade básica média de 460 kg m⁻³. Sette Junior *et al.*, (2012) apresentaram como resultados da densidade básica da madeira de *E. grandis* com 2, 3, 6 anos, valores médios de 440 kg m⁻³. Almeida *et al.*, (2022), encontraram como resultados para os clones de *E. grandis* aos cinco anos, valores entre 380 a 430 kg m⁻³.

Para clones de *E. urophylla*, aos 4 anos de idade, Brasil e Veiga (1994) apresentaram resultados variando de 446 a 491 kg m⁻³. Mendes *et al.*, (2014) encontraram para clones de *E. urophylla* com 7,8 anos, resultados de densidade básica entre 520 a 650 kg m⁻³. Paulino e Lima (2018), para *E. urophylla* aos 8

anos, encontraram resultados variando entre 450 a 540 kg m⁻³. Para os híbridos das duas espécies, Santos e Sangígolo (2007) estudaram clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, aos 6, 5 e 7 anos de idade, com densidade básica variando de 440 a 508 kg m⁻³. Também foram encontrados na literatura, para os híbridos dessas duas espécies, resultados entre 394 a 485 kg m⁻³ (Vivian; Silva Júnior, 2017; Assis *et al.*, 2018; Junior *et al.*, 2019; Magalhães *et al.*, 2020).

3.2 Normas para determinação da densidade básica da madeira

As principais normas utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira de discos e cavacos são a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 11941 (Associação Brasileira de Normas técnicas, 2003), a 258 om-94 (*Technical Association of Pulp and Paper Industry*, 2006), a CM 43:95 (*Scandinavian Pulp, Paper, and Board Testing Committee*, 1995) e a D2395-14 (*American Society for Testing and Materials*, 2017). Cada uma dessas normas possui suas particularidades e abordam o tema aprofundando-se de diferentes formas. Neste contexto, o Quadro 1 apresenta um resumo e um comparativo dessas normas para a determinação da densidade básica de discos e cavacos.

Quadro 1 – Resumo comparativo entre as normas de determinação de densidade básica de cunhas e cavacos de madeira.

Variáveis	NBR 11941	TAPPI T-258	SCAN-CM 43	ASTM D2395-14
Amostragem em campo (referencias)	NBR 14660 (2004)	TAPPI T-257 (2012)	SCAN-CM 41 (1994)	ASTM D5536-94 (2010)
Procedimentos para DISCOS				
Saturação das amostras	Submergir o disco em água até atingir o PSF. Tempo de saturação dependente da umidade da amostra, maior se a umidade da madeira for menor que o *PSF.	Madeira verde ou, mergulhar o disco em água a 23 ± 2°C por no mínimo 1 hora. A amostra é considerada saturada quando seu teor de umidade excede o *PSF.	Submergir a amostra em água, em temperatura ambiente, por no mínimo 4 horas e no máximo 3 dias.	Umidade deve exceder o PSF.

		Submergir a amostra em água, em temperatura ambiente, por no mínimo 4 horas e no máximo 3 dias.		
Estratégia para discos maiores que os recipientes	Não aborda esta variável.	Cortar os discos em cunhas ou “meia luas”, pesar cada segmento e depois somar o seu peso.	Não aborda esta variável.	Aborda amostras de diferentes tamanhos e formas geométricas. É aplicável para discos.
Detalhes para pesagem da amostra úmida após a saturação	Não aborda esta variável.	Escovar a serragem das superfícies. Secar com um pano ou papel absorvente, repousar 5 minutos antes da pesagem. Evitar correntes diretas de ar e aquecimento direto.	Retirar o excesso de água, enxugando os discos cuidadosamente com um pano absorvente.	Não aborda esta variável.
Aparato para volume deslocado das amostras em água	Mais simples. Suporte perfurante simples que permita a imersão do disco. Procedimento simples.	Aparato e procedimento mais complexo em comparação às demais normas.	Mais simples. Suporte perfurante simples que permita a imersão do disco em seu eixo horizontal. Procedimento simples.	Suporte perfurante e procedimento simples.
Secagem em estufa (circulação de ar forçada)	Temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante. Detalha a massa constante como a diferença entre duas pesagens sucessivas não excedendo 0,5 g.	Temperatura de $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até massa constante, porém não possui uma faixa referência em gramas ou porcentagem, para confirmar a secagem.	Temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante. Etapa conforme descrito no SCAN-CM 39.	Temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante. Não variar mais que 2% durante um período de 8 horas.
Procedimentos para CAVACOS				

Saturação das amostras	<p>Utilizar recipiente para saturação dos cavacos em água que permita aplicação de vácuo (dessecador, Kitassato ou outro). Manter as amostras imersas até a saturação completa.</p> <p>Para facilitar ou acelerar a penetração da água, permite utilizar vácuo intermitentemente.</p>	<p>A menos que a madeira seja verde, mergulhar o lote de cavacos em água a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ por no mínimo 1 h.</p> <p>Não menciona a aplicação de vácuo.</p>	<p>Submergir as amostras de cavaco em água, em temperatura ambiente, por no mínimo 4 horas e no máximo 3 dias.</p> <p>Não menciona a aplicação de vácuo.</p>	<p>Mergulhar os cavacos em água, a temperatura ambiente por ao menos 1 hora, até que estejam acima do *PSF e não absorvam água durante o procedimento.</p> <p>Não menciona a aplicação de vácuo.</p>
Detalhes para pesagem da amostra úmida após a saturação	<p>Papel absorvente. Retirar água superficial.</p>	<p>Retirar água residual.</p>	<p>Uso de centrífuga em velocidade pré-determinada por 2 minutos.</p>	<p>Centrífuga de 800 a 1200 rpm por até 4 minutos, para remover a água superficial.</p>
Aparato para volume deslocado em água	<p>Mais simples. Cesto.</p>	<p>Mais complexo <i>Picnômetro</i> (Faz recomendação de dimensões).</p>	<p>Cilindro, com tampa e tela de arame inox. (Faz recomendação de dimensões).</p>	<p>Mais simples Cesto de malha de arame.</p>
Massa de cavacos para análise	<p>100 a 250 g de cavacos classificados.</p>	<p>300 a 350 g de cavacos classificados.</p>	<p>Não aborda a quantidade para a análise. Aborda a classificação.</p>	<p>300 a 350 g de cavacos classificados.</p>
Secagem em estufa (Circulação de ar forçada)	<p>Temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$ Até massa constante, ou seja, a secagem à temperatura especificada é conduzida até que a diferença entre duas pesagens sucessivas não exceda 0,5 g.</p>	<p>Temperatura de $105 \pm 3^\circ\text{C}$ Até massa constante, porém não possui uma faixa referência em gramas ou porcentagem, para confirmar a secagem. Indica o período de 24 a 48 horas.</p>	<p>Temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante. Etapa conforme descrito no SCAN-CM 39.</p>	<p>Temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante. Não variar mais que 2% durante um período de 8 horas.</p>

Resfriamento	Resfriar a amostra de cavacos em dessecador e pesar.	Não aborda esta etapa.	Não aborda esta etapa.	Não aborda esta etapa.
Determinação da densidade básica	Métodos da Balança Hidrostática e do Máximo Teor de Umidade.	Método da Balança Hidrostática.	Método da Balança Hidrostática.	Método da Balança Hidrostática.

*PSF: Ponto de saturação das fibras.

3.3 Variabilidade da densidade básica da madeira de eucalipto

O fato de ser observada grande variabilidade na composição química e nas propriedades físicas, anatômicas e mecânicas da madeira entre árvores e dentro de uma mesma árvore, faz com que a obtenção de resultados significativos e representativos de toda a árvore seja um dos grandes desafios e dificuldades (Zobel; Van Buijtenen, 1989).

Downes *et al.*, (1997) afirmaram que a maneira como a característica é controlada geneticamente e a variação da propriedade dentro da árvore exercem influência significativa na quantidade de amostras, ressaltando que a variabilidade possui grande efeito no resultado encontrado. Em levantamento feito por Pádua *et al.*, (2015), estudando um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, Almeida *et al.*, (2020), que investigou a madeira de *Eucalyptus urophylla* e Rocha *et al.*, (2020) estudando quatro diferentes materiais genéticos de eucalipto encontraram que a densidade e demais propriedades da madeira podem variar entre árvores em decorrência de diversos fatores, como idade, espaçamento, manejo, fatores climáticos e tipo de solo.

A densidade da madeira varia dentro de uma mesma árvore no sentido medula-casca e base-topo da árvore. Para a madeira de eucalipto, há uma tendência de redução da densidade no sentido longitudinal da árvore (base-topo), ou uma redução da base ao DAP, seguida de uma redução ou aumento até a copa. Já no sentido radial da árvore, foi observado como padrão um incremento da densidade no sentido medula-casca (Panshin; De Zeeuw, 1970; Jammal Filho, 2011; Boschetti; Vidaurre; Silva, 2020)

Oliveira, Hellmeister e Tomazello Filho (2005), reportaram um aumento da densidade no sentido medula-casca da madeira de sete espécies de eucalipto (*E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. tereticornis*, *E. citriodora*, *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis*), com 16 anos e provenientes de Anhembi/SP. Os mesmos autores, reportaram maior variação da densidade no sentido base-topo, com um perfil de redução da densidade até determinada altura do tronco, seguida de aumento ou diminuição da densidade até a copa.

Resultados semelhantes em relação a variabilidade da densidade básica foram encontrados por Barbosa (2013), ao estudar a qualidade da madeira de dois clones de *E. grandis* x *E. urophylla* cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais. O autor observou de maneira geral um aumento da densidade no sentido medula-casca de ambos os clones. Já no sentido base-topo, o autor encontrou maior variabilidade decorrente dos diferentes materiais genéticos e regiões, sendo um padrão de acréscimo até o DAP, seguido de decréscimo ou acréscimo até a copa.

Tomazello Filho (1985), ao estudar a variação da densidade básica da madeira de duas espécies de eucalipto (*E. grandis* e *E. saligna*), relatou que para ambas as espécies, houve acréscimo desta propriedade no sentido medula-casca.

3.4 Tipo de amostra de madeira e métodos para determinação da densidade básica

O fato de existir número considerável de normas e técnicas de amostragem, associado à falta de consenso em relação às melhores e à quantidade de posições de amostragem, torna-se complexa a definição mais clara do tema e uma perspectiva dos métodos mais precisos para se determinar a densidade da madeira (Downes *et al.*, 1997; Trugilho *et al.*, 2010; Couto *et al.*, 2012).

Não houve diferenças significativas entre os métodos da balança hidrostática e do máximo teor de umidade na determinação da densidade básica de cavacos nos resultados para a madeira de eucalipto, pinus e araucária (Foelkel; Brasil; Barrichelo, 1971). Os dois métodos foram efetivos para se determinar a densidade básica da madeira, sendo vantajoso usar o método do

máximo teor de umidade para determinação em larga escala, devido à maior facilidade de execução. Contudo, esse método em relação ao da balança hidrostática é menos rigoroso, devido ao cuidado que se deve tomar no controle de máxima saturação.

Trugilho *et al.*, (1990) compararam seis métodos de determinação da densidade básica da madeira de *Hymenaea courbaril* L. (jatobá), em corpos de prova prismáticos com três dimensões e saturação completa com auxílio de vácuo intermitente. Dentre seus resultados, encontraram que os dois métodos de imersão (baseado na variação da massa líquida e da massa da amostra) e o método do máximo teor de umidade, foram os mais precisos. Não houve diferença estatística entre os resultados desses métodos, tampouco foi verificada influência das dimensões dos corpos de prova utilizados.

Segundo Segura (2015), ao estudar densidade básica das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e *E. grandis* x *E. urophylla* determinada com discos (método da balança hidrostática) e cavacos (método do máximo teor de umidade), encontrou-se forte relação entre as duas formas de amostrar a madeira, com a densidade básica dos materiais determinados por disco maiores quando comparadas ao cavaco, os resultados apresentaram variações entre 0,048 a 0,114 g/cm³. Para o mesmo autor, a justificativa para tais variações foram a amostragem e os métodos utilizados nas análises.

Ao estudar a densidade básica da madeira determinada por discos (Método da balança hidrostática) e cavacos (método do máximo teor de umidade) tanto para o gênero *Pinus*, quanto para o gênero de *Eucalyptus*, Coelho (2017; 2021) reportou que os resultados para a densidade básica determinada por disco foram superiores. A metodologia a ser usada pode ser escolhida em decorrência da disponibilidade dos equipamentos necessários, tempo e formato da amostra disponível e objetivo final (Coelho, 2017; 2021).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostragem do material

As árvores amostradas foram provenientes de um talhão experimental de teste clonal, na cidade de São Miguel Arcanjo, São Paulo, Brasil, localizado nas coordenadas 23° 52' 7,7" S e 47° 53' 45,5" W. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (1928), o clima da região é Cfa (subtropical úmido) e o solo foi classificado como latossolo amarelo. A área de plantio possuía 3,56 hectares, espaçamento de 3,3 x 1,8 metros e em toda a área foram adotados manejos silviculturais semelhantes. A região apresentou médias anuais de temperatura e precipitação iguais a 20,2 °C e 1100,86 mm, entre os anos de 2016 a 2022.

O teste clonal foi realizado no delineamento em blocos inteiramente casualizados. Possuindo parcelas lineares de cinco plantas e seis blocos, totalizando 480 parcelas.

Foram coletados 05 clones operacionais de eucalipto de relevância para a empresa parceira aos 6,8 anos (6 anos e 10 meses) de idade. De acordo com os dados do último inventário florestal realizado nas parcelas experimentais, foram selecionadas 05 árvores de diâmetro médio de cada clone para serem colhidas, totalizando 25 árvores amostradas, com suas respectivas informações dendrométricas (Tabela 1).

Tabela 1 - Características dendrométricas dos materiais genéticos estudados, aos 6,8 anos.

Clones	Espécie/ híbrido	Diâmetro Médio (cm)	IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Altura média (m)	VMI (m ³)
C1	<i>E. urophylla</i>	16,9	32,1	28,1	0,1170
C2	<i>E. grandis</i>	13,5	21,7	20,9	0,0790
C3	<i>E. grandis</i>	19,3	45,5	29,0	0,1660
C4	<i>E. urophylla</i>	21,6	68,9	32,0	0,2510
C5	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	11,0	17,6	17,7	0,0640

IMA: Incremento médio anual; VMI: Volume médio individual.

Após a colheita, procedeu-se a cubagem rigorosa das árvores pelo método de Smalian (Machado; Figueiredo Filho, 2009) com altura comercial definida na região em que o diâmetro com casca se limitava a 6 cm. Em seguida, foram cortados discos de 3 cm de espessura de seis posições ao longo do fuste de cada árvore, 0, DAP (1,30 metros), 25, 50, 75 e 100% (Figura 1A) da altura comercial do fuste. Entre as posições de amostragem dos discos foram retirados 05 toretes de 1 metro de comprimento para a produção de cavacos (Figura 1C).

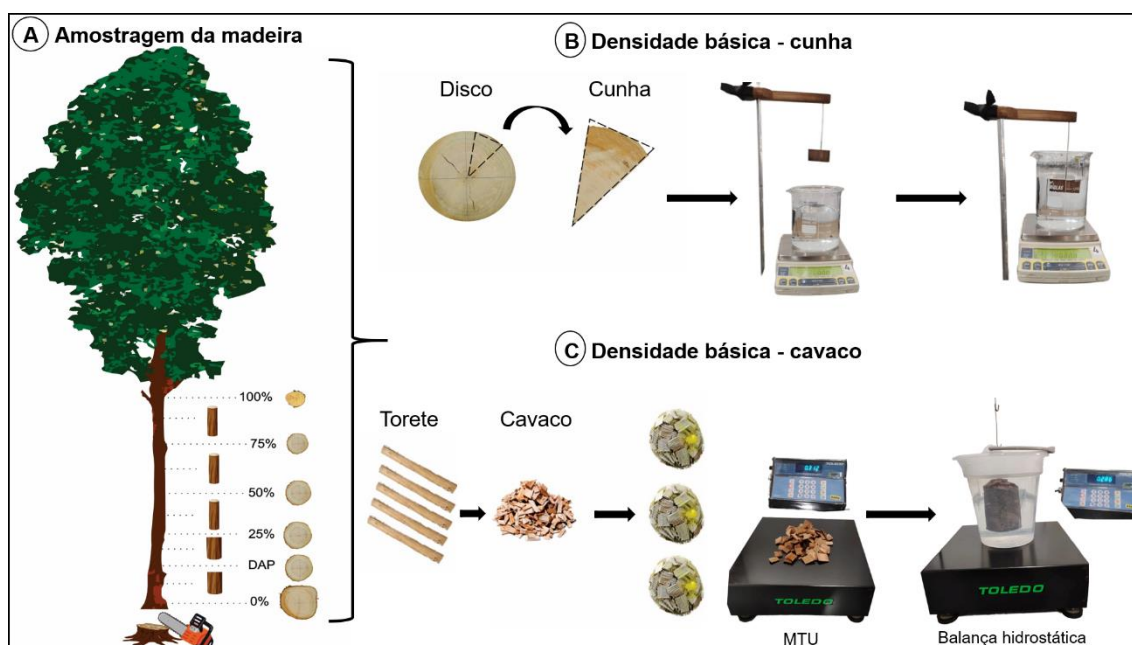


Figura 1 – Amostragem dos discos e toretes de madeira para determinação da densidade básica.

Dos discos coletados nas seis posições base-topo foram produzidas cunhas (Figura 1B) para a determinação da densidade básica. Para a produção dos cavacos, os 05 toretes cortados de cada árvore foram picados como uma amostra individual e classificados com auxílio de uma peneira agitadora, com abertura de tela de 25 mm, restando cerca de 85% de cavacos classificados. A etapa final de classificação foi realizada manualmente, buscando-se retirar os cavacos com dimensões fora do padrão, nós e fissuras.

Após a classificação dos cavacos, foram coletadas amostras de 60 gramas por árvore e com auxílio de um paquímetro de aço, coletou-se suas dimensões. Os cavacos possuíam dimensões médias de aproximadamente 25 mm de largura x 25 mm de comprimento e 3 mm de espessura. Em seguida,

realizou-se a secagem natural dos cavacos, por 48 horas, para evitar a colonização de fungos manchadores e emboladores durante o transporte e o armazenamento, até a realização dos ensaios.

4.2 Determinação da densidade básica por cunhas

De cada disco ao longo do fuste, retirou-se uma cunha (Figura 1B) para a determinação da densidade básica da madeira, de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003), aplicando-se vácuo para a aceleração da saturação das amostras. A densidade básica de cada árvore foi determinada com base na média das cunhas das 6 posições.

O critério para considerar as amostras saturadas foi a massa constante, que se baseia em pesagens consecutivas das amostras. O material é considerado saturado quando a variação da massa entre as pesagens for inferior a 0,5 gramas.

4.3 Determinação da densidade básica de cavacos e testes de saturação

A densidade básica dos cavacos foi determinada pelos métodos do máximo teor de umidade (ABNT NBR 11941, 2003) e da balança hidrostática, com diferentes tempos e procedimentos de saturação (Quadro 2). O método da balança hidrostática é apresentado nas normas SCAN-CM 43:45 (1995), ABNT NBR 11941 (2003), TAPPI 258 OM-02 (2006) e ASTM D2395-14 (2017). De cada árvore, constituída do mix dos cavacos de todas as posições, três amostras de 130 gramas de cavacos secos (por repetição) com umidade média inicial de 9% foram submetidas aos testes, totalizando 75 amostras de cavaco por teste. Todos os testes foram realizados com uma autoclave vertical (Pimatec, CS-A-150L) com capacidade máxima de trabalho de 127°C e 0,18 MPa de pressão.

Quadro 2 – Testes e as diferentes combinações das variáveis utilizadas para a saturação dos cavacos de madeira para a determinação da densidade básica.

Teste/variável	Vácuo	Pressão	Temperatura
Teste 1 (Vácuo – estabelecido por norma)	Diário de 0,08 MPa	-	-

Teste 2 (Vácuo, pressão e temperatura)	0,08 MPa durante os 90 minutos iniciais	Constante de 0,15 MPa, a partir do 2º dia	Apenas no 1º dia, 70°C
Teste 3 (Vácuo, pressão e temperatura)	0,08 MPa durante os 90 minutos iniciais	Constante de 0,15 MPa, a partir do 2º dia	Apenas no 1º dia, 100°C
Teste 4 (Pressão)	-	Constante de 0,15 MPa	-
Teste 5 (Vácuo e temperatura)	Diário de 0,08 MPa	-	Apenas no 1º dia, 70°C
Teste 6 (Pressão e temperatura)	-	Constante de 0,15 MPa	Apenas no 1º dia, 70°C
Teste 7 (Vácuo e temperatura)	Diário de 0,08 MPa	-	Diária, 70°C

A verificação da saturação das amostras de cavacos de madeira foi realizada de acordo com dois critérios: i) pelo controle da massa úmida constante, que consiste em pesar a amostra em balança digital de precisão até massa constante entre pesagens consecutivas, a diferença entre as pesagens não excedendo 0,5 g (ABNT NBR 11941, 2003; SCAN-CM 43:45, 1995); e ii) pela submersão dos cavacos em água. As amostras foram imersas em um recipiente com água, observando-se a flutuação ou submersão. Os cavacos eram considerados saturados quando ocorria a submersão das amostras. Ambos os critérios foram adotados por serem as metodologias adotadas em laboratórios e empresas do setor florestal.

Após essa verificação das condições dos cavacos e os mesmos serem considerados saturados segundo os dois critérios. Previamente à pesagem da massa úmida e determinação do volume, os cavacos foram secos em toalhas de algodão e papel absorvente para a remoção do excesso de água em sua superfície.

As variáveis temperatura, vácuo e pressão foram utilizadas com o objetivo de reduzir o tempo de saturação dos cavacos para a determinação da densidade e por serem adotadas por várias empresas do setor florestal. Para isso, 03 amostras de cavaco (triplicata) por material genético foram mantidas em sistema fechado (autoclave), sob a influências das variáveis listadas no Quadro 2.

Durante os testes com as variáveis e suas combinações, a massa das amostras de cavacos foi aferida a cada 3 dias até a massa constante (quando a diferença entre as pesagens consecutivas não ultrapassa 0,5g). Exceto para os Testes 2 e 3, que idealizando seguir o protocolo realizado pela empresa parceira, a pesagem iniciou aos 4 dias, seguindo a sequência de 4, 6, 9 dias e assim sucessivamente, até a massa constante. O volume das amostras foi aferido a partir do dia em que as amostras submergiram por completo em água.

Após os cavacos atingirem massa constante, anotou-se esse valor para a determinação da densidade básica pelo método do máximo teor de umidade. Em seguida, realizou-se a imersão em água, para obtenção de seu volume, em um cesto de aço inox (Figura 1C), para a determinação da densidade básica pelo método da balança hidrostática.

Assim, foi possível observar durante a pesagem das amostras de cavacos a cada 3 dias o comportamento da umidade, densidade básica, bem como o tempo de saturação, e aferir o efeito dos testes de saturação e do material genético nesses parâmetros. Escolheu-se 10 kg/m^3 como limite para a comparação da diferença dos resultados da densidade básica da madeira, por ser o valor que as empresas do setor de celulose consideraram como impactante no processo,

4.4 Consumo específico de madeira

Para a análise da importância dos valores de densidade básica da madeira em uma fábrica de celulose, foi estimado o consumo específico de madeira considerando-se os diferentes resultados de densidade básica obtidos por diferentes formas de saturação do cavacos e métodos de determinação. Ou seja, estimou-se o efeito dessa variação da densidade básica no consumo específico de madeira.

Para isso, foram utilizados os resultados de rendimento depurado aos 7 anos, fornecidos pela empresa, e teor de extrativos obtidos em laboratório das mesmas amostras, porém com os mesmos clones plantados no estado da Bahia. Tais resultados encontram-se na Tabela 2.

Para determinação do teor de extrativos da madeira das árvores estudadas, foram coletadas amostras em formato de cunha dos discos sem casca de cada posição de amostragem ao longo do fuste (Figura 1B). As amostras foram reduzidas a palitos, os quais foram posteriormente, transformados em serragem, utilizando-se um moinho de facas do tipo Willey, dando-se origem a uma amostra composta por árvore. Selecionou-se o material que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retido na de 60 mesh, o qual foram climatizados por 7 dias, em ambiente com umidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Com as amostras climatizadas, determinou-se o teor de extrativos conforme a norma TAPPI 264 cm-07 (2007). A extração foi realizada em acetona, durante seis horas, utilizando-se Soxhlet. A extração em água quente foi realizada por uma hora em banho-maria. As extrações ocorreram em triplicatas.

A correlação entre o rendimento depurado e teor de extrativos da madeira é alta, de forma que a variação de um ponto percentual nos extrativos, acarretará perdas consideráveis de rendimento (Tabela 2).

$$\text{Rend. Depurado}_{\text{São Paulo}} = \text{Rend. Depurado}_{\text{Bahia}} + \text{Diferença}_{\text{Extrativos}} \quad (1)$$

Tabela 2 – Resultados do rendimento depurado e teor de extrativos usados no cálculo do consumo específico estimado de madeira

Clone	Rendimento Depurado 7 anos Bahia (%) (Banco de dados)	Extrativos Bahia (%)	Extrativos São Paulo (%)	Diferença extrativos (Bahia - São Paulo)	Rendimento Depurado 7 anos São Paulo (%) (Equação 1)
C1	0,490	2,20	3,30	-1,10	0,479
C2	0,479	2,60	3,70	-1,10	0,468
C3	0,524	2,60	3,40	-0,80	0,516
C4	0,491	3,20	3,30	-0,10	0,490
C5	0,492	3,00	2,90	0,10	0,493

Para o cálculo do rendimento depurado aos 6,8 anos dos genótipos (SP), foi utilizado um modelo matemático fornecido pela empresa parceira (não apresentado no presente trabalho por questões de sigilo empresarial). O modelo considera, dentre algumas variáveis, o rendimento depurado do material genético e a idade de corte, que nesse estudo, foi avaliado com 6,8 anos.

Tabela 3 – Rendimento depurado dos clones aos 6,8 anos.

Clone	Rendimento Depurado (%)
C1	0,465
C2	0,444
C3	0,512
C4	0,499
C5	0,463

A equação 2 mostra como foi estimado o consumo específico de madeira em laboratório. Na qual, o valor 900 representa que uma tonelada de celulose de celulose seca ao ar (tsa) tem 10% de umidade. A densidade básica é a medição de laboratório da densidade básica da madeira e RG é o rendimento global, que na verdade é o rendimento depurado menos as perdas que podem variar de 6 a 9%. Neste trabalho não há variações reais de densidade básica, mas apenas variação de valores obtidos devido a diferentes formas de saturação dos cavacos e métodos de determinação. Porém, se considerarmos um consumo específico fixo, as variações de DB podem representar variações do rendimento global real, já que este valor é de difícil mensuração, principalmente devido às perdas.

Neste trabalho, para o cálculo do consumo específico de madeira, utilizou-se a relação descrita Equação 3, em que foram utilizados o fator K da empresa (790), a densidade básica da madeira e o rendimento depurado estimado aos 6,8 anos (Tabela 3). O fator K, representa as perdas e ganhos (DB ou RG = rendimento global) no processo que impactam no consumo específico de madeira, considerando-se a quantidade de madeira que foi transformada em

polpa de celulose. O número padrão do fator K é 900, considerando-se a polpa com 10% de umidade. É importante reforçar que a variação nos resultados da DB não representa diferenças dimensionais reais na qualidade da madeira, apenas nas medições.

$$CEM (m^3 \cdot tsa^{-1}) = \frac{900}{DB \times RG} \quad (2)$$

Em que: $RG = (RD \times (1 - \text{perdas}))$

$$CEM (m^3 \cdot tsa^{-1}) = \frac{\text{Fator K}}{DB \times RD} \quad (3)$$

Em que: CEM: consumo específico de madeira ($m^3 \cdot tsa^{-1}$); Fator K: 790, fator de conversão para tsa (tonelada de celulose seca ao ar); DB: densidade básica da madeira ($kg \cdot m^{-3}$); RD: rendimento depurado (%).

4.5 Análise dos dados

Para a análise dos dados referentes à densidade básica entre os diferentes dias e testes realizados, foi adotada uma abordagem estatística que incluiu a comparação das médias e dos desvios padrões. O delineamento experimental seguiu um modelo inteiramente casualizado, garantindo que a variabilidade observada fosse atribuída exclusivamente aos tratamentos aplicados, e não a fatores externos não controlados.

Inicialmente, foi aplicada uma análise de variância (ANOVA) para avaliar a existência de diferenças significativas entre as médias das amostras. Esse procedimento foi conduzido utilizando o teste F, que é apropriado para identificar variações significativas entre os grupos. Quando a ANOVA indicou significância estatística, ou seja, uma diferença significativa entre as médias, procedeu-se com o teste de comparação múltipla de Tukey, adotando um nível de significância de 5%. Este teste foi essencial para determinar quais grupos apresentavam diferenças específicas entre si, permitindo uma análise mais detalhada das variações observadas.

Além disso, as comparações referentes ao consumo específico e ao seu efeito financeiro foram realizadas utilizando métodos estatísticos descritivos. Foram calculados os valores mínimos e máximos, bem como a média e o desvio padrão, com o objetivo de descrever de forma abrangente as variações e a dispersão dos dados dentro de cada conjunto analisado. Esses cálculos forneceram uma visão das tendências centrais e da variabilidade dos dados, possibilitando a compreensão dos parâmetros envolvidos no estudo.

5 RESULTADOS

5.1 Umidade e densidade básica da madeira (método do máximo teor de umidade) ao longo dos dias de saturação em água

A umidade e a densidade básica dos cavacos avaliada pelo método do máximo teor de umidade ao longo dos dias de pesagem podem ser observadas na Figura 2. O comportamento da densidade básica da madeira foi de decréscimo ao decorrer dos dias de saturação, já o da umidade, de acréscimo.

Houve efeito do material genético no tempo de saturação das amostras pelo método da submersão, observando-se testes (1, 4, 5) em que, avaliados por esse critério, os clones saturaram em diferentes dias. Para a aferição da saturação por massa constante (pesagens consecutivas com variação inferior a 0,5 gramas), os clones, dentro do mesmo teste, saturaram praticamente no mesmo dia.

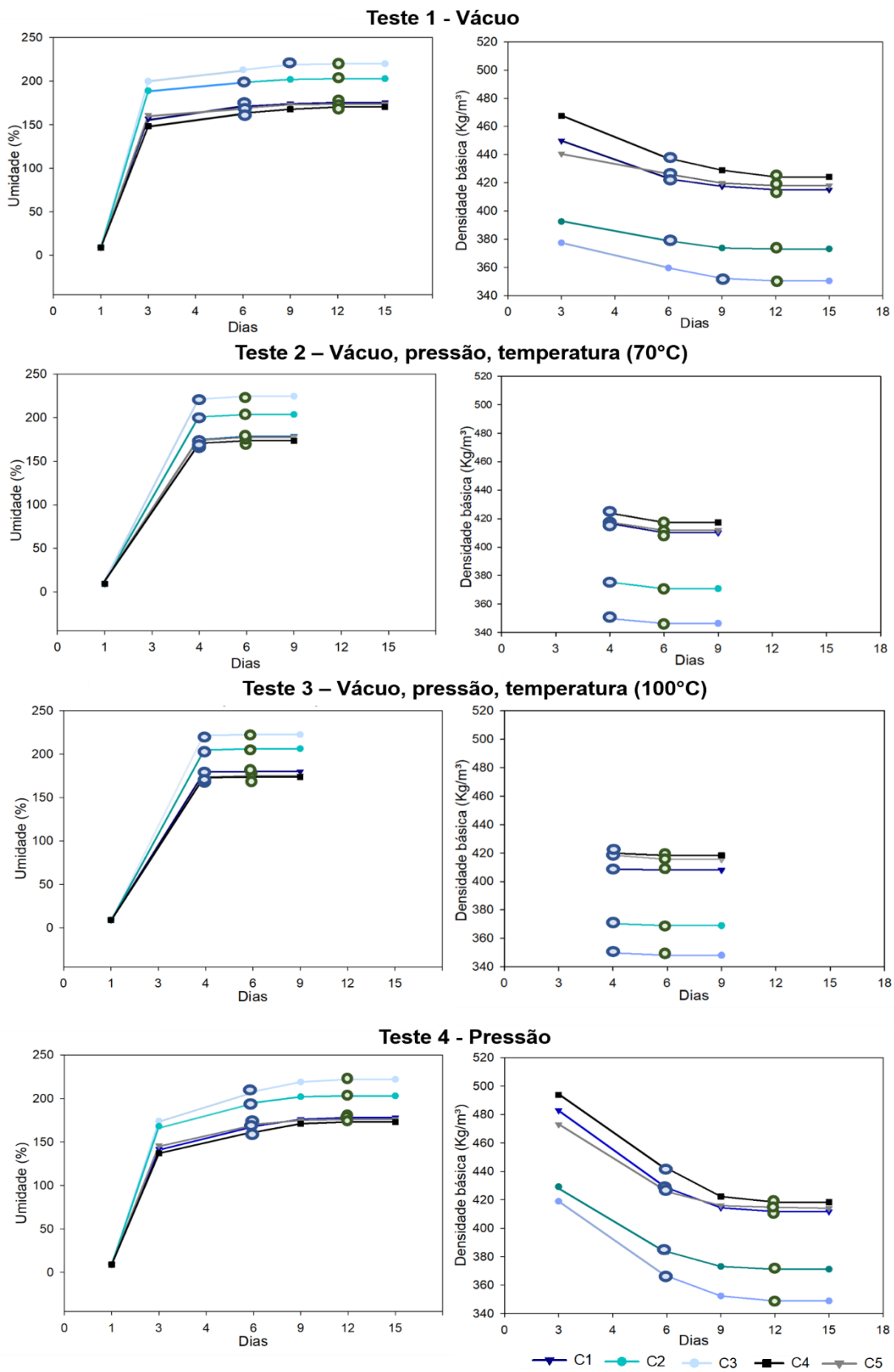


Figura 2A – Variação da umidade, iniciando com 9%, e da densidade básica (máximo teor de umidade) dos cavacos ao longo dos dias de avaliação.

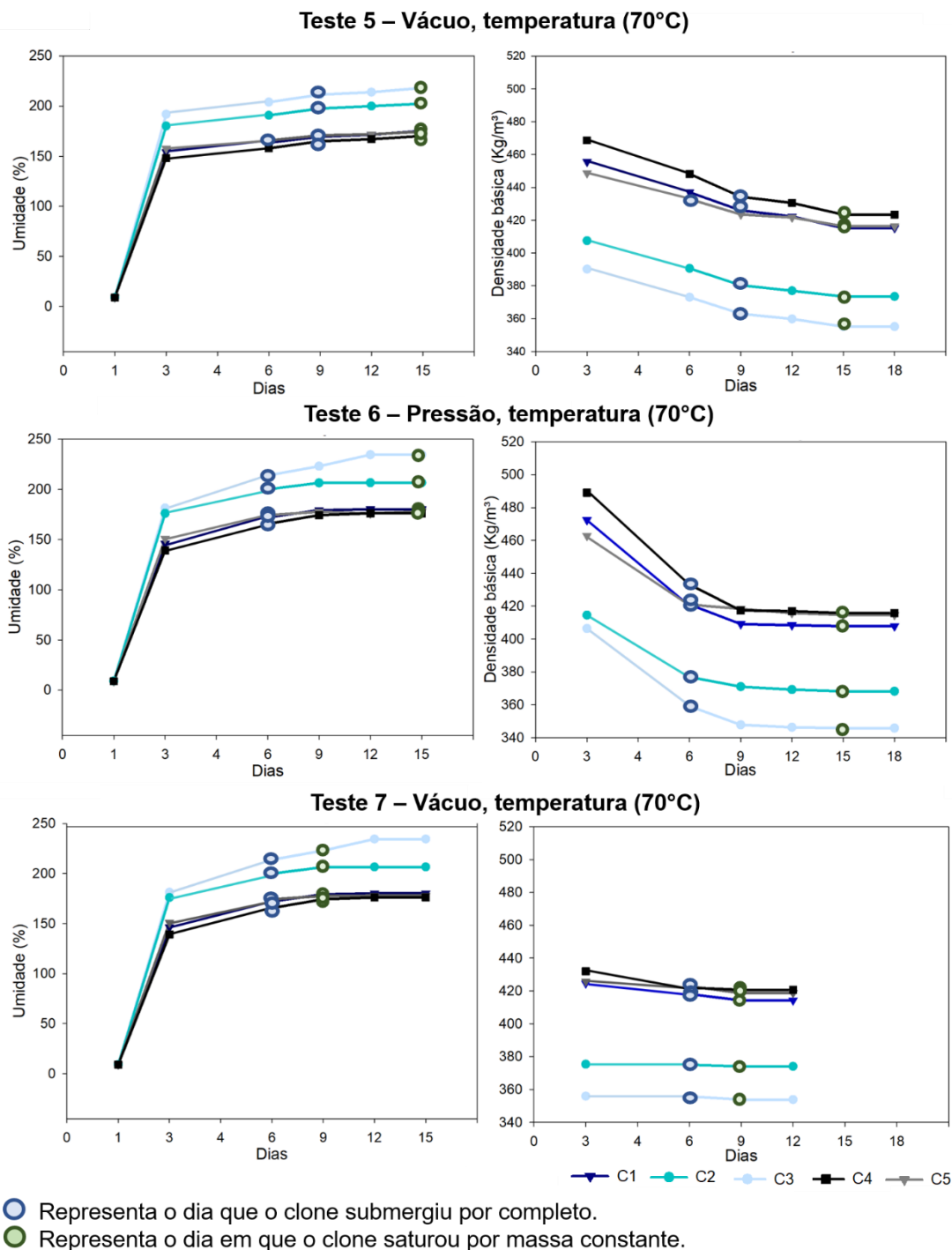


Figura 2B – Variação da umidade, iniciando com 9%, e da densidade básica (máximo teor de umidade) dos cavacos ao longo dos dias de avaliação.

A densidade básica e a umidade dos cavacos aferidos no dia de saturação segundo o critério de submersão dos cavacos em água (metodologia frequentemente utilizada em empresas e laboratórios) e também por controle de massa úmida constante, determinada por massa constante entre pesagens consecutivas, nos testes realizados, podem ser observadas na Tabela 4. As

células destacadas em azul representam as diferenças cujo valor foi acima de 10 kg/m³.

Tabela 4 – Médias de umidade e densidade básica (máximo teor de umidade) dos cavacos nos dias em que as amostras foram consideradas saturadas pelos diferentes critérios.

Teste	Clone	Umidade (%) Submersão	Umidade (%) Saturação completa	DB (kg/m ³) Submersão	DB (kg/m ³) Saturação completa	Diferença DB (kg/m ³)
1 Vácuo	C1	171,31	175,66	422,77	415,15 A	7,62
	C2	198,70	203,37	378,77	372,12 A	6,65*
	C3	219,23	220,86	352,21	350,38 A	1,83
	C4	169,39	173,88	426,22	423,86 A	2,36
	C5	163,40	170,37	437,38	418,52 A	18,86*
	Média	184,41	188,83	403,47	396,01	7,46
2 VPT70	C1	174,83	178,63	416,61	410,16 A	6,45
	C2	201,12	203,74	375,32	370,75 A	4,57
	C3	221,52	224,76	349,78	346,32 A	3,46
	C4	174,22	177,53	417,47	417,28 A	0,19
	C5	170,60	173,69	423,92	411,69 A	12,23*
	Média	188,46	191,67	396,62	391,24	5,38
3 VPT100	C1	179,41	179,93	408,73	408,15 A	0,58
	C2	204,70	206,27	370,38	368,95 A	1,43
	C3	221,50	222,53	349,84	348,04 A	1,80
	C4	173,67	175,26	418,45	418,20 A	0,25
	C5	173,02	173,79	419,88	415,49 A	4,39
	Média	190,46	191,56	393,46	391,77	1,69
4 Pressão	C1	168,14	177,67	428,46	411,65 A	16,81*
	C2	195,46	204,15	383,59	371,11 A	12,48*
	C3	219,34	222,41	352,30	348,79 A	3,51
	C4	169,61	176,26	425,77	418,43 A	7,34*
	C5	160,82	173,72	442,25	413,98 A	28,27*
	Média	182,67	190,84	406,47	392,79	13,68
5 VT	C1	169,48	175,18	425,97	415,22 A	10,75
	C2	197,59	202,38	380,34	373,49 A	6,85
	C3	211,36	218,14	362,97	351,18 A	11,79
	C4	165,70	174,69	432,92	416,31 A	16,61*
	C5	164,95	170,23	434,34	422,48 A	11,86*
	Média	181,82	188,12	407,31	395,74	11,57
6 PT	C1	172,35	180,21	420,97	407,86 A	13,11*
	C2	200,10	206,77	376,92	368,23 A	8,69*
	C3	213,92	230,43	359,22	345,85 A	13,37
	C4	167,75	176,98	433,10	415,77 A	17,33*
	C5	165,79	176,26	421,02	414,56 A	6,46
	Média	183,98	194,13	402,25	390,45	11,79

7 VTd	C1	173,95	175,80	418,07	414,26 A	3,81
	C2	201,33	202,95	375,02	374,04 A	0,98
	C3	216,87	217,94	355,92	348,96 A	6,96
	C4	171,18	171,28	422,42	420,71 A	1,71
	C5	171,47	173,31	422,85	418,74 A	4,11
	Média	186,96	188,26	398,86	395,34	3,51
Diferença notável, considerada acima de 10 kg m ⁻³						

As médias seguidas da mesma letra na coluna, para um mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste Tukey a 5% de significância ($P < 0,05$).

As médias seguidas de um * indicam diferença estatística significativa na densidade básica (máximo teor de umidade) determinada levando em consideração os critério de saturação, isso para um mesmo clone e teste, de acordo com o teste Tukey a 5% de significância ($P < 0,05$).

A densidade básica variou ao longo dos dias de saturação pelo método do máximo teor de umidade (Figura 2A e 2B), demonstrando a importância de garantir a completa saturação das amostras na determinação da densidade básica, por meio do controle da massa constante entre pesagens sucessivas das amostras que estão sendo saturadas. Foi observado que o controle por submersão da amostra, comumente utilizado nas indústrias, superestimou a densidade básica da madeira, visto que houve o aumento da massa das amostras mesmo após a submersão completa do material, que impactou na densidade básica.

O clone C3 apresentou a maior densidade básica média, seguido dos clones C2, C1, C5 e C4, respectivamente e esta ordem é invertida para a umidade. Esta relação entre densidade e umidade foi uma tendência observada para os materiais em todos os testes propostos.

A densidade básica dos cavacos foi avaliada no dia de submersão completa da amostra em água e também no dia de saturação final, obtida pela pesagem consecutiva das amostras variando menos de 0,5 gramas. Observa-se diferenças significativas entre os valores para os testes 1, 2, 4, 5 e 6 (Tabela 4), para pelo menos um clone. A grandeza dessa diferença mostrou ter relação com o material genético e o teste aplicado, tendo tendência do clone C5 ter a maior diferença de densidade básica entre os critérios de saturação estudados, chegando a 28,27 kg/m³ no teste 4. Para este clone os testes 3, 6 e 7 não apresentaram esta mesma tendência.

Os testes aliando vácuo, pressão e temperatura (Testes 2 e 3), considerados mais severos, por associarem todas as variáveis do estudo, tiveram menor tempo de saturação dos cavacos e menores diferenças entre os

valores de densidade básica (amostras saturadas - amostras submersas) quando comparados aos testes com menos severidade. O Teste 3 (mais severo - vácuo, pressão e maior temperatura) obteve diferenças variando entre 0,25 kg/m³ para o clone C4 e 4,39 kg/m³ para o clone C5, nenhuma delas sendo significativa estatisticamente.

Os testes 5 e 6 que foram menos severos em comparação aos anteriores, por não aliarem temperatura a saturação das amostras, demandaram mais dias para saturação da madeira (6 e 9 dias para saturação por submersão e 15 dias para saturação por massa constante) e tiveram maiores valores de diferenças entre os critérios de saturação (amostras saturadas - amostras submersas). Os resultados para os testes 5 e 6 apresentaram diferenças acima de 10 Kg/m³ e com diferenças estatísticas significativas para a maior parte dos clones estudados.

Entre os 7 testes realizados, dois (Teste 2 e Teste 3) obtiveram tempo de saturação após pesagens consecutivas até massa constante de 6 dias, o teste 7 ocasionou em tempo de saturação de 9 dias, nos Testes 1 e 4, esse tempo de saturação foi de 12 dias, para os testes 5 e 6 a saturação por massa constante levou 15 dias.

Visando determinar a densidade básica da madeira pelo método da balança hidrostática, onde os cavacos devem estar completamente submersos em água para que seja possível a aferição de seu volume (critério da submersão), esses tempos diminuíram para 4 dias nos Testes 2 e 3, e 6 a 9 dias para os Testes 1, 4, 5, 6 e 7, variando de acordo com o material genético.

5.2 Comparação da densidade básica da madeira determinada com cunhas e cavacos: método da balança hidrostática.

Na análise comparativa da densidade básica determinada por cunhas e cavacos pelo método da balança hidrostática (Figura 3), as cunhas tiveram maiores valores médios de densidade básica quando comparada aos cavacos, com diferenças variando de 0,18 kg/m³ para o clone C3 a 28,96 kg/m³ para o clone C2, sendo consideradas estatisticamente diferentes apenas o clone C2. O clone C3, com a menor densidade básica da madeira entre os materiais genéticos estudados, também obteve as menores variações entre os valores de

densidade da cunha e cavacos, quando comparados aos demais, sua variação máxima foi de 6,06 kg/m³.

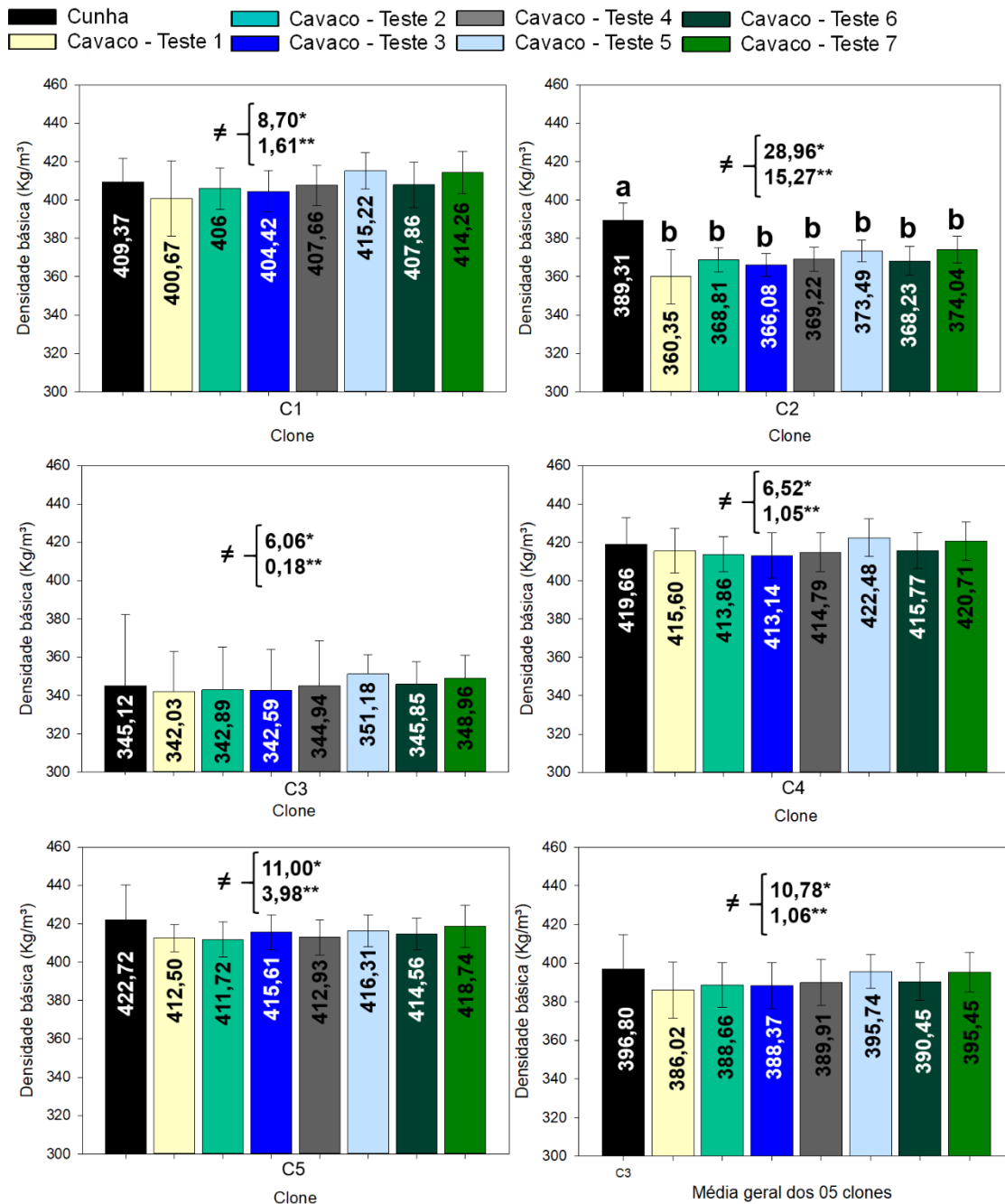


Figura 3 – Densidade básica da madeira (método da balança hidrostática) determinada com cunhas e cavacos. As barras seguidas da mesma letra, dentro de um mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si, os clones sem letras apresentadas nos gráficos, também não diferiram estatisticamente entre si de acordo com o teste Tukey a 5% de significância ($P < 0,05$). *: Maiores diferenças entre as densidades básicas determinadas por cunha e cavaco. **: Menores diferenças entre as densidades básicas determinadas por cunha e cavaco.

O desvio padrão da densidade básica determinada com cunhas, no geral, foi maior que o dos cavacos. Esta tendência só não foi observada para os clones

C2 (12,18 kg/m³) e C1 (8,98 kg/m³), quando comparados ao desvio padrão do teste 1 (18,63 e 14,22 kg/m³, respectivamente) dos mesmos clones.

Os resultados das médias gerais dos clones apresentaram a mesma tendência da análise dos clones individualmente, com a densidade básica determinada com cunha sendo maior em valores absolutos, quando comparada aos cavacos. As diferenças apresentadas entre as amostras não tiveram significância estatística por teste Tukey a 5%, em valores absolutos, esses valores variaram entre 10,78 a 1,06 kg/m³.

5.3 Densidade básica de cavacos: comparação dos métodos da hidrostática e máximo teor de umidade

A densidade básica dos cavacos determinada pelos dois métodos, da balança hidrostática e do máximo teor de umidade, ambos com saturação utilizando apenas vácuo diário (Teste 1, Quadro 2) e critério de saturação sendo massa constante, não apresentaram diferença significativa. Em termos absolutos, a diferença entre os dois métodos foi de 1,61 kg/m³ para o clone C5 e 7,23 kg/m³ para o clone C2, com o método do máximo teor de umidade apresentando valores superiores de densidade básica em relação à balança hidrostática.

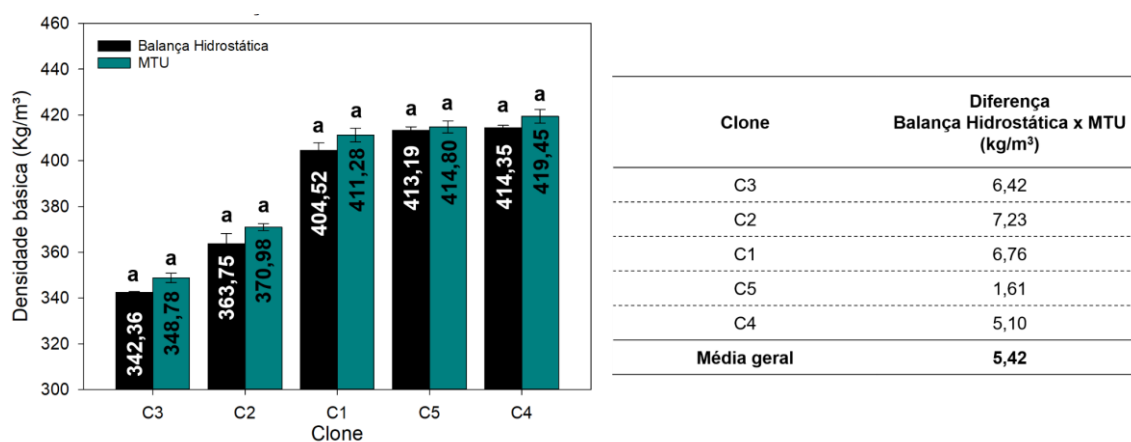


Figura 4 – Comparação da densidade básica de cavacos obtida pelos métodos da balança hidrostática e máximo teor de umidade (MTU). As médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de um mesmo clone, não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância ($P < 0,05$).

Em termos de média geral entre os clones, a diferença entre a balança hidrostática e o método do máximo teor de umidade, não diferiram significativamente dos clones analisados isoladamente. A diferença média geral entre os clones foi de 5,45 kg/m³.

5.4 Estimação do consumo específico de madeira por diferentes métodos de saturação dos cavacos e tipos de amostra

O consumo específico de madeira (CEM) representa a quantidade de madeira necessária para produzir uma tonelada de celulose. Para a fabricação de celulose, é um dos principais indicadores da matéria prima e vital para as empresas do setor, pois tem forte influência no custo de produção da celulose, bem como na demanda por matéria-prima. A partir dos resultados de densidade básica e rendimento depurado dos materiais genéticos estudados, foi possível estimar o efeito das variações encontradas nos cálculos de predição do CEM (Figura 5), caso a variação fosse realmente devida à qualidade da madeira e não o método de análise.

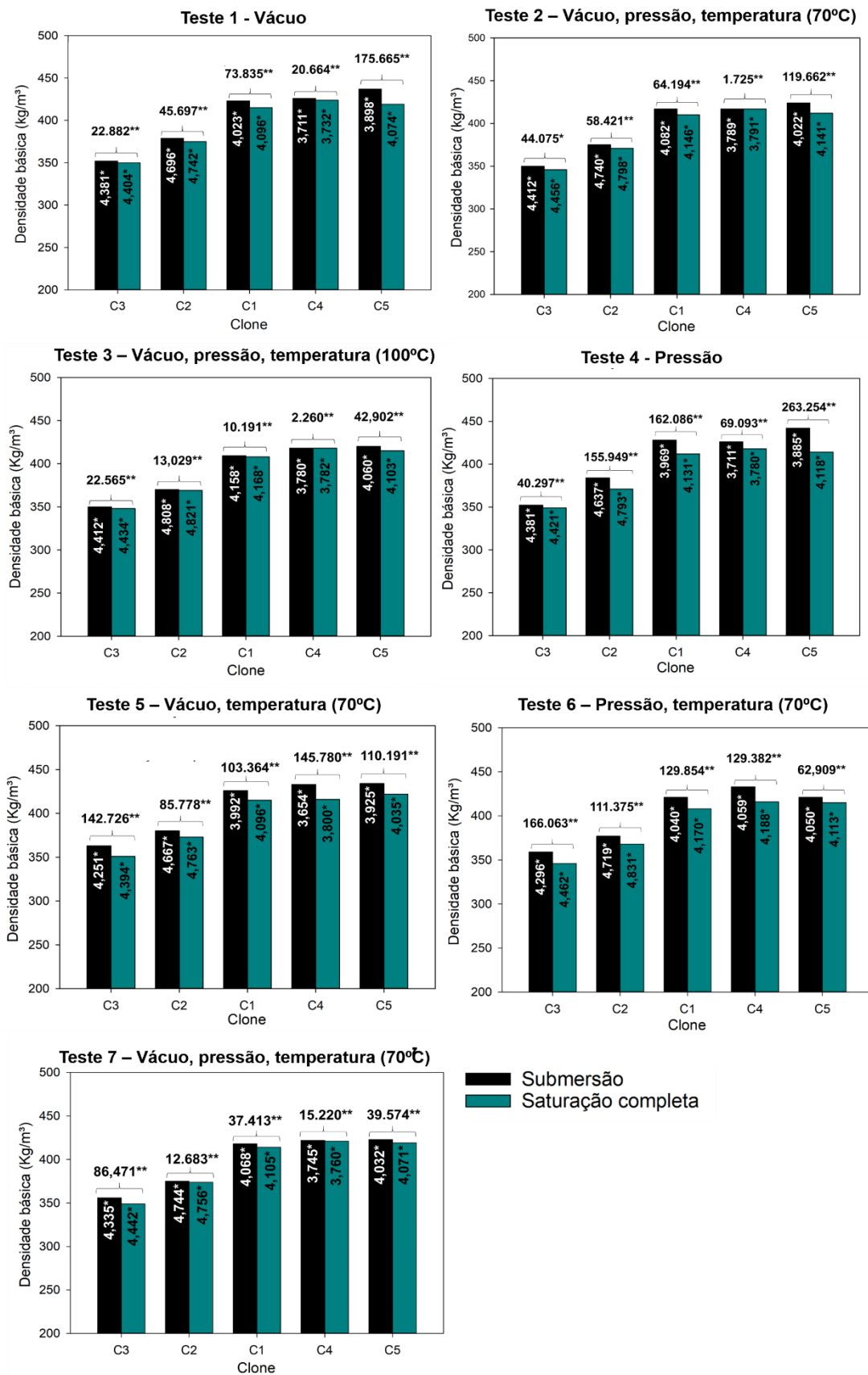


Figura 5 – Comparação do consumo específico estimado de madeira com diferentes densidades básicas (máximo teor de umidade). *: consumo específico de madeira (m³/tsa) **Diferença em escala industrial entre os consumos específicos, multiplicado por 1.000.000 (m³/tsa).

A relação entre a densidade básica e o consumo específico de madeira, amplamente debatida na literatura científica, também foi observada para o presente trabalho. Os materiais genéticos mais densos (C4 e C5), no geral, resultaram em menor consumo específico de madeira, o oposto ocorreu para os clones menos densos (C2 e C3).

Reforçando o efeito do material genético, comparando-se os clones C2 e C3, é possível observar que mesmo o clone C2, sendo mais denso e possuindo menor rendimento depurado, demonstrou consumo específico de madeira maior para todos os testes de saturação.

As diferenças de consumo específico de madeira em decorrência da forma de aferição da saturação (amostras saturadas por massa constante - amostras submergidas) da madeira não apresentaram padrão por clone. Tais diferenças, se realmente ocorressem na realidade, quando transformadas para escala industrial, demonstraram que poderiam provocar um efeito expressivo nas predições de consumo específico de madeira, com diferenças de 1.725 (C4, teste 2) a 263.254 m³/t_{sa} (C5, teste 4), caso houvesse diferenças reais na DB. Porém, pode-se atribuir esses valores às perdas no processo que não estão sendo computadas nas superestimativas do RG.

O teste de saturação também demonstrou que a DB medida pode estar sendo subestimada e possivelmente superestimando o rendimento global (RG) nas predições do consumo específico de madeira entre os dias de avaliação. Os testes cujo a madeira levou mais dias para saturar, acarretam em maiores variações de densidade básica e consequentemente, em maiores superestimativas do rendimento global, sem afetar o CEM, testes 6, 4, 6 e 1, respectivamente. Sendo o oposto verdadeiro, visto os testes 3, 7 e 2, respectivamente.

6 DISCUSSÃO

6.1 Umidade e densidade básica da madeira (método do máximo teor de umidade) ao longo dos dias de saturação e efeito dos testes

A densidade básica e a umidade da madeira foram inversamente proporcionais. Os clones com maior densidade básica da madeira, possuíam as menores porcentagens de umidade, assim como foi abordado em alguns trabalhos com a madeira de eucalipto (Foelkel; Milanez; Busnardo, 1983; Oliveira; Hellmeister; Tomazello Filho, 2008; Almeida *et al.*, 2014; Silva, 2019). A relação inversamente proporcional entre umidade e densidade básica ocorre tanto tratando de sua umidade natural, quanto de seu máximo teor de umidade. Isso ocorre devido ao reduzido volume de espaços vazios disponíveis na estrutura anatômica da madeira para armazenamento de água, ou seja, mudanças na morfologia de fibras e vasos em árvores, acarretam em distintas distribuições de vasos e fibras com diferentes comprimentos e espessura de parede, ocorrendo um incremento na densidade básica e reduzindo os espaços celulares nos quais a umidade, em maior parte na forma de água livre se concentra (Zobel; Van Buijtenen, 1989; Carmo, 1996; Oliveira; Hellmeister; Tomazello Filho, 2008; Silva, 2019).

Os efeitos dos testes de saturação de cavacos nos valores de densidade, ressaltaram a importância de garantir a saturação completa das amostras por pesagens consecutivas e os riscos da aferição da saturação pela metodologia de submersão em balde de água. Foelkel, Brasil e Barrichelo (1971) ressaltam o cuidado no controle da absorção da água pelas amostras e a importância da garantia da máxima saturação para a realização da densidade pelo MTU.

A determinação da densidade básica da madeira pelo método do máximo teor de umidade possui dois pressupostos, a madeira precisa estar no seu máximo teor de umidade para a pesagem do material saturado e a densidade da “substância madeira precisa estar em $1,53 \text{ g/cm}^3$, para que a primeira condição seja atendida (FOELKEL; MILANEZ; BUSNARDO, 1983). O método do máximo teor de umidade vem sendo amplamente utilizado no setor madeireiro, por possuir maior eficiência operacional, visto que requer apenas pesagem dos cavacos úmidos e secos em estufa, seguido dos cálculos em equação

específica. Já o método da balança hidrostática requer maior número de equipamentos, como mencionado anteriormente, além da aferição do volume das amostras ser um processo lento.

Estudos apresentam, assim como neste trabalho, o risco de superestimar a densidade básica da madeira ao aferi-la sem a garantia da máxima saturação. Ao comparar o método do máximo teor de umidade ao método da balança hidrostática, Foelkel; Brasil; Barrichelo, (1971) citaram a praticidade de se garantir apenas o ponto de saturação das fibras e a menor propensão a erros de medições do método da balança hidrostática.

O decréscimo da curva dos valores de densidade básica ao longo dos dias até a saturação completa do material, é explicado pela fórmula de determinação da densidade básica da madeira pelo método do máximo teor de umidade. No cálculo da densidade básica pelo método do máximo teor de umidade, a presença da massa úmida no numerador da fração que está no denominador da fórmula, resulta em uma relação inversamente proporcional entre a massa úmida e a densidade básica da madeira.

Não se observou efeito do teste de saturação nos valores finais de densidade básica. Sendo as pequenas variações encontradas em termos de valores absolutos, esperadas devido à alta variabilidade da madeira dentro da árvore e entre árvores de um mesmo povoamento, idade, espécie e gênero (Ferreira e Kageyama, 1978; Foelkel; Mora; Menochelli, 1992).

O tempo de saturação da madeira para a determinação da densidade básica é muitas vezes limitante para as empresas do setor florestal. O tempo prolongado de saturação das amostras atrasam análises e processos, além de dificultar o monitoramento “in loco” da matéria prima utilizada na produção e a geração de informação para os programas de melhoramento florestal. Dessa forma o uso de diferentes testes para a saturação da madeira, visou acelerar este processo e analisar o efeito dessa aceleração nos valores finais de densidade básica da madeira (Figura 2).

Era esperado que a associação das variáveis nos testes realizados ocasionasse menor tempo de saturação das amostras, mas, isso não foi observado para todos os testes. O teste 5 (vácuo e temperatura) e o teste 6 (pressão e temperatura), tiveram tempo de saturação final maior que os teste 1 (vácuo) e 4 (pressão).

6.2 Densidade básica da madeira determinada por cunhas e cavacos

A densidade básica da madeira em amostras de cunhas e cavacos apresentaram diferenças em valores médios entre as amostras. Segura (2015) e Coelho (2017; 2021) ao determinarem a densidade básica de discos e cavacos de corymbia, pinus e eucalipto, respectivamente, assim como neste trabalho, encontraram maiores valores absolutos de densidade básica para as amostras de maior dimensão (discos), quando comparado aos cavacos. Segura (2015), apresentou variações entre 0,048 a 0,114 g/cm³ para discos e cavacos de corymbia e eucalipto. Coelho (2017), reportou resultados 4,5 a 5,4% inferiores para cavacos de pinus e Coelho (2021) obteve resultados médios 4,1% menores para a densidade básica determinada por cavacos de eucalipto.

A alta variação obtida na densidade básica da madeira em decorrência da diferença das amostras, aliado ao efeito dessas variações na predição do consumo específico, corrobora com a importância de estudos sobre do conhecimento da determinação da densidade básica da madeira.

6.3 Método de determinação da densidade básica da madeira: máximo teor de umidade e balança hidrostática

A densidade básica de cavacos determinada pelo método do máximo teor de umidade foi maior para todos os clones em relação ao método da balança hidrostática. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas pelo teste Tukey a nível 5% de significância, ao comparar a determinação da densidade básica da madeira pelo método do máximo teor de umidade e balança hidrostática.

Foelkel, Brasil e Barrichelo (1971) ao compararem os dois métodos de determinação da densidade básica de cavacos de espécies de coníferas e folhosas, também não encontraram diferenças significativas, assim como Padula (2013), ao estudar os dois métodos para madeira de eucalipto. Embora o método do máximo teor de umidade, pela facilidade de execução possa ser utilizado para determinação em larga escala, deve-se ter cuidado no controle da umidade das amostras, garantindo a saturação, sendo neste ponto em específico o método

da balança hidrostática mais rigoroso, por ser pouco influenciado pelos fatores mencionados para o método do máximo teor de umidade (Foelkel; Brasil; Barrichelo, 1971).

6.4 Estimação do consumo específico por diferentes métodos de saturação dos cavacos e tipos de amostras

Os cálculos de predição de consumo específico de madeira foram afetados pelos parâmetros estudados, testes e critérios de saturação, tipos de amostras e método de determinação da densidade. As diferentes medições influenciaram na estimação desse índice, mostrando a importância da obtenção de valores precisos de densidade básica e que estejam os mais próximos da realidade da fábrica. Assim, evitando subestimar ou superestimar o consumo específico, e tornando possível conhecer melhores pontos de perdas ao longo da sua cadeia produtiva. Foelkel (2017), descreve a importância de se atentar aos cálculos de consumo específico de madeira, para que as variações dos valores existentes nos cálculos não ocultem informações de distúrbios no processo e qualidade intrínseca e extrínseca da madeira.

Apesar da faixa de variação da densidade básica da madeira entre os clones estudados para o presente trabalho não ter sido alta, foi possível observar ao estimar o consumo específico, uma menor demanda de madeira, ao calcular este parâmetro utilizando-se materiais de maior densidade, o oposto foi verdadeiro. Essa mesma tendência foi tida como resultado para Mokfienski *et al.*, (2008) e Gomide, Fantuzzi Neto e Regazzi (2010), os autores ressaltam que devido a madeira ser comumente comercializada e transportada por volume, madeiras de maior densidade irão ocasionar em matéria prima com mais celulose, demandando menor volume de madeira. Essa vantagem deve ser levada em consideração em programas de melhoramento florestal.

Embora a relação entre baixa densidade básica da madeira e consumo específico se revele desfavorável. Há vantagens em madeiras de menores densidades básicas, como a necessidade de menor carga alcalina no cozimento, ocasionando em melhor rendimento, viscosidade e menor teor de sólidos para recuperação, fato que torna importante o estudo do ponto ótimo entre a densidade básica, consumo específico e processo (Gomide *et al.*, 2005).

As tendências de comportamento dos clones em relação ao consumo específico, se mantiveram entre os diferentes testes. Tornando possível perceber que além da densidade básica, há forte influência do material genético e rendimento depurado nos cálculos de predição de consumo específico de madeira. Fato que reforça a importância da seleção da matéria prima correta e dos programas de melhoramento florestal.

Os clones C2 e C3, quando comparados, diferiram em comportamento da relação entre densidade básica e consumo específico. Esperava-se que o clone C3, por ter menor densidade básica, tivesse maiores valores de predição de consumo específico de madeira quando comparado ao clone C2. Fato que não ocorreu devido às diferenças de rendimento depurado dos materiais genéticos, 0,444 e 0,512 %, respectivamente. Estudo realizado com 75 clones de eucalipto, com o objetivo de correlacionar as caracterizações básicas da madeira com o rendimento da polpação, relatou que, apesar da alta correlação entre a densidade básica da madeira e consumo específico, os teores de lignina e extrativos tiveram grande impacto no rendimento depurado, ocasionado em perdas ou ganhos que impactarão o consumo específico de madeira (Gomide, Fantuzzi Neto e Regazzi, 2010).

Guerra *et al.*, (2008) constataram uma forte relação entre o rendimento depurado e o consumo específico de madeira em clones de *Eucalyptus globulus* com idades entre 5 e 7 anos, todos cultivados na mesma região geográfica. Mokfienski *et al.*, (2008) concluíram, com base em análises de fragmentos de madeira de eucalipto, que uma menor densidade básica está associada a um rendimento mais elevado. No entanto, observaram que o consumo específico de madeira é menor em espécies de eucalipto com maior densidade. Magaton *et al.*, (2009) concluíram que o consumo específico de madeira é mais influenciado pela densidade básica do que pelo rendimento depurado e que o rendimento não apresenta associação com outras propriedades da madeira. Sansígolo e Ramos (2011) compararam a qualidade de amostras de eucalipto provenientes de três fazendas diferentes, encontrando relação entre o rendimento e o consumo específico de madeira, uma maior densidade básica está associada a um maior rendimento e a um menor consumo específico de madeira.

7 CONCLUSÃO

O uso em conjunto de vácuo, pressão e temperatura (70 e 100°C) reduziu o tempo de saturação dos cavacos da madeira de eucalipto, não interferindo nos valores de densidade da madeira.

Algumas das normas estudadas, preveem o uso de equipamentos complexos para a determinação da densidade básica da madeira, além de abrangerem o assunto saturação de forma subjetiva. Essas constatações, resultam em diferentes práticas visando acelerar a saturação das amostras e facilitar a realização dos ensaios.

A determinação da densidade básica da madeira utilizando o método do máximo teor de umidade resulta em uma superestimação de seus resultados quando realizado em cavacos sem completa saturação. O método do máximo teor de umidade se apresentou mais suscetível a erros humanos, visto a meticulosidade que se deve ter ao garantir a máxima saturação do material e a secagem para a realização das pesagens.

A densidade básica da madeira de cavacos determinada pelos métodos da balança hidrostática e do máximo teor de umidade não diferiram estatisticamente a 5% de significância. Porém os valores sempre foram menores para o método da balança hidrostática.

A densidade básica da madeira obtida por amostras de cavacos apresentou menores valores médios em relação às amostras de cunha, porém iguais perante testes estatísticos (exceto para o clone C2). No entanto, em valores absolutos, as diferenças entre os dois tipos de amostras ocasionaram um grande efeito no consumo específico de madeira e conseqüentemente no financeiro. Sendo importante mais estudos visando entender a melhor forma de amostrar a madeira.

Encontrou-se efeito das variações da densidade básica na predição do consumo específico, tanto tratando dos critérios de saturação e métodos de determinação, quanto pelo tipo de amostra. Demonstrando a necessidade e importância de obtenção de valores médios de densidade básica com precisão. Fato que mostrou acarretar em efeito financeiro.

Os testes 2, 3 e 7, demandaram menos dias para serem considerados saturados, com base na obtenção de massa constante entre pesagens consecutivas. Esses testes não resultaram em menores variações na predição de consumo específico. Desse modo, dentre os testes propostos, o teste 3 destaca-se por oferecer os melhores resultados: não influenciou os resultados finais de densidade básica da madeira, demandou menos dias para alcançar saturação e apresentou menor variação dentre os critérios de saturação adotados, ocasionando em menor variação na predição de consumo específico.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. H.; MOLINA, J. C.; ALMEIDA, T. H.; CALIL JUNIOR, C.; ALVES, A. C. L. Determinação do teor de umidade e densidade básica para espécies de pinus e eucalipto. **Revista Científica Eletrônica da FAIT**, São Paulo, [SI: s.n], p. 7, 2014.
- ALMEIDA, M. N. F., PICOLI, E. A. T.; MOULIN, J. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ZAUZA, E. A. V.; LOOS, R. A.; HALL, K. B.; GOMES, D. S.; CONCEIÇÃO, G. J.; RODRIGUES, P. D.; VIDAURRE, G. B. Propriedades da madeira como potenciais biomarcadores de tolerância a distúrbios fisiológicos: comparação de genótipos de eucalipto divergentes. **Scientia Forestalis**, v. 50, 2022.
- ALMEIDA, M. N. F. ; VIDAURRE, G. B.; PEZZOPANE, J. E. M.; LOUSADA, J. L. P. C.; SILVA, M. E. C. M.; CÂMARA, A. P.; ROCHA, S. M. G.; OLIVEIRA, J. C. L. de; CAMPOE, O. C.; CARNEIRO, R. L. Heartwood variation of *Eucalyptus urophylla* is influenced by climatic conditions. **Forest Ecology And Management**], v. 458, p. 1-10, 2020.
- ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *E. urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 87-95, 2005.
- ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; TOMAZELLO FILHO, M.; LIMA, J. T.; VIDAURRE, G. B. Densitometria de raios x na madeira e carvão de clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Revista Árvore*, v. 40, n.1, p. 155-162, 2016.
- ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; GOULART, S. L.; ASSIS, M. R.; BIANCHI, M. L. Efeito da aplicação de nitrogênio na produção e qualidade da madeira de carvão vegetal de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, p. 2-8, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: madeira**: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14660: madeira**: amostragem e preparação para análise. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 7 p.
- 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", Philidelphia , 2017.
- BALDIN, T., TALGATTI, M.; SILVEIRA, A. G.; MARCHIORI, J. N. C.; SANTOS, G. A.; SANTOS, O. P.; VALENTE, B. M. R. T. Qualidade da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose por espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS). **Scientia Forestalis**, v. 48, n.126, p. 13, 2020.
- BARBOSA, T. L.; OLIVEIRA, J. T. da S.; ROCHA, S. M. G.; CÂMARA, A. P.; VIDAURRE, G. B.; ROSADO, A. M.; LEITE, F. P. Influence of site in the wood

quality of *Eucalyptus* in plantations in Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 81, n. 3, p. 247-253, 2019.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Basic density and retractibility of wood clones of three *Eucalyptus* species. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BERTOLA, A. **Eucalipto – 100 Anos de Brasil**: “Falem mal, mas continuem falando de mim”. [S. l.]: Eucalyptus Online Book & Newsletter, 2004. 91 p. Disponível em: https://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf. Acesso em: 22 mar. 2024.

BERTOLUCCI, F.; REZENDE, G.; PENCHEL, R. Produção e utilização de híbridos de eucalipto. **Silvicultura**, v.13, n.51, p.12-18, 1993.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINIG, D. A.; MCDONALD, M. W.; TURNER, J. D. The eucalypts. In: BOLAND, D. J. (Coord.). **Forest trees of Australia**. 4. ed. Melbourne: CSIRO, p. 193-204, 1992.

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, 2020. p. 132-170.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A. Variação da densidade básica da madeira de progênies de *Eucalyptus urophylla* S. T. BLAKE em dois locais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 168-175, 1994.

BROWING, B. L. Methods of wood chemistry. New York: **Interscience**, 1967, 364 p.

BRUDER, E. M. **Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus* sp.** 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

CARMO, A. P. T. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto.** 1996. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.

COELHO, M. U. **Avaliação tecnológica da madeira de *Pinus maximinoi* visando sua utilização industrial na produção de celulose Kraft.** 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

COELHO, M. U. **Impacto da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* na eficiência dos processos de polpação Kraft estendidos.** 2021. 135 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

COUTO, A. M.; PROTÁSIO, T. de P.; REIS, A. A. dos.; TRUGILHO, P. F. Amostras longitudinais alternativas para a determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus* sp. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 184-193, 2012.

DOWNES, G. M.; HUDSON, I. L.; RAYMOND, C. A.; DEAN, G. H.; MICHELL, A. J.; SCHIMLECK, R.; EVANS, R.; MUNERI, A. **Sampling plantation eucalypts for wood and fiber properties**. Melbourne: CSIRO, 1997. 126 p.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoria genética da densidade da madeira de eucalipto. **Boletim informativo IPEF**, v. 6, n. 20, p. 1-14, 1978

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, v. 2, n. 3, p. 65-74, 1971.

FOELKEL, C. E. B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J. O. M. A qualidade do eucalipto. **Silvicultura**, p. 11, 1978

FOELKEL, C. E. B.; MILANEZ, A. F.; BUSNARDO, C. A. Método do máximo teor de umidade aplicado à determinação de densidade básica de madeira de eucalipto. **Silvicultura**, v. 8, n. 28, p. 792-796, 1983.

FOELKEL, C. E. B. **Qualidade da madeira do eucalipto**: reflexões acerca da utilização da densidade básica como indicador de qualidade da madeira no setor de base florestal. [S. l.]: *Eucalyptus Online Book & Newsletter*, 2015. Capítulo 41, 199 p. Disponível em: http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT41_Densidade_Basica_Madeira.pdf. Acesso em: 07 mar. 2023.

FOELKEL, C.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de celulose. **O Papel**. v. 53, n. 5, p. 35-40, 1992.

GOMIDE, J. L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A. J. Analysis of wood quality criteria of *Eucalyptus* wood for Kraft pulp production. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**. v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GONÇALEZ, J. C.; DOS SANTOS, G. L.; SILVA JUNIOR, F. G.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GUERRA, A.; ELISSETCHE, J.; NORAMBUENA, M.; FREER, J. Influence of lignin structural features on *Eucalyptus globulus* Kraft pulping. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 47, n. 22, p. 8542-8549, 2008.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual – 2023**. Brasília: IBÁ, 2023. 88 p.

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.

JUNIOR, L. S.; MELO, R. R.; CASTRO, V. G.; SOUZA, M. J. C.; BATISTA, F. G. Qualidade da madeira juvenil de um híbrido clonal (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* – H13). **Advences in Forestry Science**, v. 6, n.1, p. 523-527, 2019.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag condicionadas. **Justus Perthes**. p.270. 1928.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. Ed. Guarapuava: Unicentro, 2009, 316 p.

MAGALHÃES, L. G. S.; LIMA, A. P. L.; LIMA, S. F.; SORATTO, D. N.; MARTINS, S. M.; SANTOS, I. F. F. Densidade básica da madeira de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 19435-19445, 2020.

MAGATON, A. D. A. S.; COLODETTE, J. L.; GOUVÊA, A. G.; GOMIDE, J. L. *Eucalyptus* wood quality and its impact on Kraft pulp production and use. **Tappi Journal**, v. 8, n. 8, p. 32-39, 2009.

MOKFIENSKI, A.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. A importância relativa da densidade básica da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 401-413, 2008.

NETO, T. C. C.; DOS SANTOS, V. B.; KULMANN, M. S. de S.; CIRILO, N. R. M.; SCHUMACHER, M. V.; STAPE, J. L.; VIDAURRE, G. B. The impact of age and forestry practices on the wood quality of *Pinus taeda* L. grown in different sites in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 562, 2024.

NIELSEN, I.R. **Utilização da madeira comercial do híbrido de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na confecção de vigas laminadas coladas**. Curitiba, 1998. 109p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variation of the moisture content and specific gravity in the wood of seven eucalypt species. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.

PADULA, R. R. Estudo comparativo de métodos para determinação da densidade básica de cavacos e discos de madeira. Botucatu, 2013. 51p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

PÁDUA, F. A. de; TRUGILHO, P. F.; THIERSCH, C. R.; VIRE, N. M.; SILVA, J. M. S. da. Tamanho amostral para a estimativa da densidade básica em um clone híbrido de *Eucalyptus* sp. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 41–47, 2015.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3. ed. New York: McGrawHill, 1970. 705 p.

PAULINO, P. S.; LIMA, I. L. Densidade básica e dimensões celulares da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla*, aos oito anos de idade. **Brazilian Journal of Wood Science**. v. 9, n. 1, p. 9-18, 2018.

QUEIROZ, S. C. S.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T BLAKE. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Piracicaba, n. 46, p. 76-85, 1993.

ROCHA, S. M. G.; VIDAURRE, G. B.; PEZZOPANE, J. E. M.; ALMEIDA, M. N. F.; CARNEIRO, R. L.; CAMPOE, O. C.; SCOLFORO, H. F.; ALVARES, C. A.; NEVES, J. C. L.; XAVIER, A. C.; FIGURA, M. A. Influence of climate variations on Productions, biomass and density of wood in eucalyptus clones of different species. **Forest Ecology and Management**, v. 473, 2020.

SANSÍGOLO, C. A.; RAMOS, E. S. Quality of wood and pulp from a clone of *Eucalyptus grandis* planted at three locations. **Cerne**, v. 17, n. 1, p. 47-60, 2011.

SANTOS, L. M. H.; ALMEIDA, M. N. F.; SILVA, J. G. M.; VIDAURRE, G. B.; HEIN, P. R. G.; SILVA, G. F.; ZANUNCIO, A. J. V.; FRAGA FILHO, C. V.; CAMPINHOS, E. N.; MAFIA, R. G.; ARANTES, M. D. C.; TOMAZELLO-FILHO, M. OLIVEIRA, M. P.; ROCHA, Q. S.; MININI, D.; MELO, A. B.; AMORIM, G. A. Variations in heartwood formation and wood density as a function of age and plant spacing in a fast-growing eucalyptus plantation. **Holzforschung**, v. 75, n. 11, p. 979-988, 2021.

SANTOS, R. B.; GOMIDE, J. L.; SOUSA, L. C. Predição de qualidade da madeira e da polpa celulósica por técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS). **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 759-769, 2009.

SANTOS, S. R.; SANGÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, p. 53-63, 2007.

SEGURA, T. E. S. **Avaliação das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e seus híbridos visando a produção de celulose Kraft branqueada**. 2015. 198 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

SETTE JUNIOR, C. R.; OLIVEIRA, I. R. de; TOMAZELLO FILHO, M.; 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**, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

SHIMOYAMA, V. R de S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência anatômica e química sobre a densidade da madeira de *Eucalyptus* spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 24., 1991, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1991. p. 23-35.

SILVA, J. G. M. **Aplicação da resistografia na estimativa da densidade e umidade da madeira em árvores jovens de eucalipto**. 2019. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.

SOUZA, R. R. S. **Caracterização anatômica quantitativa e composição de óleos essenciais em três estágios foliares de clones de eucalipto e sua relação com a ferrugem**. 2008. 106p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **Basic density and moisture content of pulpwood: test method T 258 om-16**. Atlanta, 1994. 6 p.

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

TRUGILHO, P. F.; ARANTES, M. D. C.; PÁDUA, F. A.; ALMADO, R. P.; BALIZA A. E. R. Estimativa de carbono fixado na madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, n. 16 p. 33-40, 2010.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta amazônica**, v. 20, p. 307-319, 1990.

VIVIAN, M. A.; SILVA JÚNIOR, F. G. da. Efeito da antraquinona na curva de cozimento kraft para madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S.L.], v. 37, n. 92, p. 457-464, 2017.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363 p.