



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

SANDRO DA SILVA BARROS

**FORMA DO FUSTE E QUALIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO EM
DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E NÍVEIS DE DESBASTE**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
FEVEREIRO – 2019

SANDRO DA SILVA BARROS

**FORMA DO FUSTE E QUALIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO EM
DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E NÍVEIS DE DESBASTE**

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.

Orientador: Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça
Coorientadora: Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
FEVEREIRO – 2019

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

D111f da Silva Barros, Sandro, 1988-
Forma do fuste e qualidade da madeira de eucalipto em diferentes espaçamentos e níveis de desbaste / Sandro da Silva Barros. - 2019.
72 f. : il.

Orientador: Adriano Ribeiro de Mendonça.
Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Florestas - Manejo. 2. Desbaste florestal. 3. Biometria. 4. Afilamento. 5. Densidade básica. I. Ribeiro de Mendonça, Adriano. II. Baptista Vidaurre, Graziela. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

**FORMA DO FUSTE E QUALIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO EM
DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E NÍVEIS DE DESBASTE**

Sandro da Silva Barros

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 26 de fevereiro de 2019.



Dr. Daniel Henrique Breda Binoti (Examinador externo)
Centro Universitário São Camilo



Prof. Dr. Jordão Cabral Moulin (Examinador externo)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

“Não é o conhecimento, mas o ato de aprender, não a posse mas o ato de chegar lá, que concede a maior satisfação ”

Carl Friedrich Gauss

Dedico

*Aos meus pais Maria de Jesus e Luiz
Gonzaga (in memoriam)*

Aos meus irmãos Andréia e Eliel

Ao meu filho João Lucas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, porque Dele, por Ele, e para Ele, são todas as coisas, a Ele a toda honra e glória.

À minha mãe Maria de Jesus e meu padrasto Luís Martins, meus irmãos Andréia e Eliel e cunhados Emerson Jr e Danila Joplin, por serem sempre o meu ponto de apoio. Parece meio paradoxal, mas as vezes nossa força vem do nosso ponto mais fraco.

Ao pessoal do Amarante-PI, por todo apoio e torcida, Karuana Martins, Socorro e João Martins, Silmaria Kelly, Wilben's (pai e filho), Nadja Aline Coisinha, Claryanne e Karolayne (dupla dinâmica).

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade do mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

Ao Projeto Biomas/Mata Atlântica, pelo apoio no experimento.

Ao meu orientador, professor Dr. Adriano Ribeiro Mendonça por todo conhecimento repassado, compreensão, confiança e respeito.

À minha coorientadora professora Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre por todas as contribuições e aprendizado repassado durante o desenvolvimento da dissertação e por disponibilizar o Laboratório de Qualidade da Madeira para realizar as análises.

Aos professores Dr. Gilson Fernandes da Silva, Dr. Jordão Cabral Moulim e Dr. Daniel Henrique Breda Binoti por aceitarem participar da minha defesa e por todas as contribuições neste trabalho.

Aos meus amigos do LamFlor, pela amizade e aprendizado durante esses dois anos, Anny Ataíde (Wandinha), Catherine Claros, Evandro Ferreira, Giovane Vieira, Isáira Lopes, Jeangelis Santos, Leonardo Biali, Mariana Aragão, Sandra Pires, Vanessa Barbosa em especial aos que ajudaram na coleta de dados em campo, Lucas Caldas, Quétilla Barros (obrigado por me fazer sorrir quando tudo vai mal), Leticia Paschoa e Caio Moraes (NUPEMASE).

Aos amigos dos outros laboratórios, casal Jean Carlos e Ana Paula, João Gabriel, Lourdes Maria Hilgert, Luciana Ferreira, Maria Naruna, Sofia Rocha, Caroline

Palacio (esquisita), Francielle Rodrigues e Edilson Sarter por me ajudarem em alguma parte deste trabalho.

Aos amigos do Piauí, Kaíse Barbosa, Genilda Amaral, Emanuel França e Márcia Fernandes (também do LamFlor), pelos bons momentos juntos, sempre presentes e prestativos.

Aos amigos da UFES e de Jeromim, não podendo deixar de mencionar: Aline Ramalho e Patrícia Borges (Narizinho e Emília), Daiana Souza (Dai), Dâmaris Nogueira, Elbya Gibson, Elayne Galvão, Fabrina Ferraz, Felipe Patrício, Lhorayne Gomes (Bióloga), Luciana Lorenzoni, Rodrigo Gorsani, Taís Rizzo, Fernanda Palácio, tia Joceli (biblioteca), Junior Patta (Vigilante) Adriane Gallo, um prazer conhecer todos vocês.

Aos amigos da república Kame, Eduardo Araújo, Elias Ferreira, João Paulo Zorzanelli e Kallil Castro, pela boa convivência.

Ao Jeferson Pereira, pela amizade, ajuda e apoio em todas as fazes de realização deste trabalho.

À Mariana Duarte (*Marie Curie*), do Nordeste para UFES, da UFES para a vida, pelos muitos momentos compartilhados, pela troca de experiências, ponto de apoio em todo tempo. Muito bom conversar com quem tem um banco de referências (e entropia) similar ao nosso.

Ao meu amigo e irmão Hobedes Albuquerque, pelo apoio, aprendizado e pela ajuda também neste trabalho.

A todos que, de algum modo, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, meu muito obrigado!

BARROS, Sandro da Silva. **Forma do fuste e qualidade da madeira de eucalipto em diferentes espaçamentos e níveis de desbaste**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça. Coorientadora: Dra. Graziela Baptista Vidaurre.

RESUMO

O objetivo do estudo foi verificar os efeitos dos espaçamentos e dos desbastes na forma do fuste e na qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. A área de estudo possui aproximadamente 1,26 ha e está localizada numa propriedade rural no município de Sooretama, ES. O plantio foi realizado em maio de 2013, sob o delineamento em blocos ao acaso com três repetições, sendo avaliados seis tratamentos: espaçamentos de plantio de 3x3 m (T1), 3x2 m (T2), 2x2m (T3) sem aplicação de desbastes; e espaçamento 2x2m com remoção de 20% (T4), 40% (T5) e 60 % (T6) da área basal pelo método seletivo. Os desbastes foram realizados aos 40 meses. Foi realizado, aos 61 meses, o abate de árvores para coleta dos discos para análise da densidade básica e relação cerne/alburno e feita cubagem rigorosa para cálculo do fator de forma normal e para o ajuste dos modelos de afilamento. Foi realizado teste de identidade para verificar a igualdade entres os tratamentos e, conseqüentemente, entre os perfis dos fustes. Foram escolhidas aleatoriamente cinco árvores com diâmetro médio por tratamento e coletados discos com espessura de 5 cm no *DAP* e nas seguintes posições: 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores (*Hc*). Foram encontrados fatores de forma variando entre 0,46 e 0,50, onde os maiores espaçamentos e pesos de desbaste resultaram em um menor fator de forma. Houve diferença significativa entre as equações ajustadas para os espaçamentos (T1, T2 e T3) e entre as equações para o espaçamento 3x2m sem desbaste (T3) e o peso de desbaste de 20% (T4). Entre as equações dos pesos de desbaste de 40 (T5) e 60% (T6) não houve diferença significativa, o que indica que a mesma equação de afilamento pode ser utilizada para modelar o perfil do fuste das árvores destes tratamentos. A relação cerne/alburno média encontrada foi de 0,32 e da densidade básica foi de 0,55 gcm⁻³, não havendo diferença entre os espaçamentos e pesos de desbaste analisados,

Palavras-chave: Afilamento, fator de forma, relação cerne/alburno, densidade básica.

BARROS, Sandro da Silva. **Stem form and quality of eucalyptus wood in different spacing and thinning levels**. 2019. Dissertation (Master of Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça. Co-adviser: Dra. Graziela Baptista Vidaurre.

ABSTRACT

The objective of the study was to verify the effects of spacing and thinning on the stem form and on the quality of the wood of a clone of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. The study area has approximately 1.26 ha and is located in a rural property in the municipality of Sooretama, ES. The planting was carried out in May 2013, under a randomized complete block design with three replications, being evaluated six treatments: planting spacings of 3x3 m (T1), 3x2 m (T2), 2x2m (T3) without application of slabs; and 2x2m spacing with removal of 20% (T4), 40% (T5) and 60% (T6) of the basal area by the selective method. The thinning were made at 40 months. It was carried out at 61 months the harvesting of trees for the collection of the discs for analysis of the basic density and heartwood/sapwood ratio and made scaling to calculate the normal form factor and for the fit of the taper models. An identity test was performed to verify the equality between the treatments and, consequently, between the stems profiles. Five trees with a mean diameter per treatment were randomly selected and 5 cm thick discs were collected at the DBH and at the following positions: 0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height of the trees (H_c). Form factors were found varying between 0.46 and 0.50, where greater spacing and weights of thinning resulted in a smaller form factor. There was a significant difference between the equations fitted for the spacings (T1, T2 and T3) and between the equations for the 3x2m spacing without thinning (T3) and the thinning of 20% (T4). Among the equations of the weight of thinning of 40 (T5) and 60% (T6) there was no significant difference, which indicates that the same taper equation can be used to model the tree stem profile of these treatments. The average heartwood/sapwood ratio found was 0.32 and the basic density was 0.55 g.cm^{-3} , with no difference between the spacing and thinning levels analyzed.

Keywords: Taper, form factor, heartwood/sapwood ratio, basic density.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Forma da árvore	16
3.2 Qualidade da madeira	20
3.2.1 Densidade básica da madeira	21
3.2.2 Relação cerne/alburno	22
3.3 Espaçamento inicial de plantios florestais	23
3.4 Desbaste em povoamentos florestais	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 Descrição da área e delineamento experimental	28
4.2 Avaliação da forma da árvore	29
4.2.1 Teste de identidade de modelos	32
4.3. Avaliação da densidade básica e relação cerne/alburno	34
4.3.1 Procedimentos de obtenção da relação cerne/alburno	35
4.3.2 Procedimentos de obtenção da densidade básica	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 Forma da árvore	37
5.1.1. Fator de forma	37
5.1.2. Modelos de afilamento	38
5.2 Caracterização da madeira dos tratamentos analisados	56
5.2.1 Densidade básica da madeira	56
5.2.2 Relação cerne/alburno	58
6 CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema experimental apresentando os blocos e tratamentos avaliados.	28
Figura 2– Esquema de amostragem dos corpos de prova para análises da densidade básica e relação cerne/alburno.	35
Figura 10 – Perfil médio do tronco estimado pelo modelo de Demaerschalk para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses.	49
Figura 11 – Perfil médio do tronco estimado pelo modelo de Demaerschalk para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses.	52
Figura 12 – Perfil médio do tronco estimado pelo modelo de Demaerschalk para povoamentos clonais de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses, plantados no espaçamento 2x2m submetidos a diferentes pesos de desbaste.....	53
Figura 13 – Perfil médio do tronco estimado pelo modelo reduzido de Demaerschalk para o espaçamento 2x2m com e sem desbaste do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses.....	56
Figura 14 – Densidade básica da madeira por espaçamento de plantio e peso de desbaste do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ($p>0,05$) pelo teste F.	57
Figura 15 – Relação cerne/alburno por espaçamento de plantio e peso de desbaste do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ($p>0,05$) pelo teste F.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos simples de afilamento e seus respectivos autores.....	17
Tabela 2 – Modelos segmentados de afilamento e seus respectivos autores.	18
Tabela 3– Estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas das árvores-amostra de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> , obtidas por meio da cubagem aos 61 meses.....	29
Tabela 4– Estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho dos modelos de regressão.	31
Tabela 5– Agrupamento dos espaçamentos e pesos de desbaste para testar hipóteses de igualdade entre equações, pelo teste de Graybill (1976).	33
Tabela 6 – Análise de variância para os testes de identidade de modelos.	33
Tabela 7– Equações usadas para cálculos de cerne e alborno.	35
Tabela 8– Fator de forma normal calculado para os diferentes espaçamentos e pesos de desbaste para os clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 61 meses.....	37
Tabela 9– Coeficientes estimados, estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho do ajuste dos modelos de afilamento e notas atribuídas (entre parênteses), na estimação dos diâmetros de árvores de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 61 meses.....	39
Tabela 10– Diferença no diâmetro das árvores estimado pelo modelo de Demaerschalk para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses.....	50
Tabela 11 – Resultado do teste proposto por Graybill (1976) para as estimativas de diâmetro ao longo do fuste para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses.....	51
Tabela 12 –. Diferença no diâmetro estimado da base e do topo das árvores pelo modelo de Demaerschalk para os diferentes pesos de desbaste do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses.	54
Tabela 13– Resultado do teste de Graybill (1976) para as estimativas de diâmetro ao longo do fuste para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 61 meses.....	55

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as madeiras provenientes de plantios florestais, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, configuram uma fonte de matéria-prima de extrema importância para o setor florestal (VALLE et al., 2013). O gênero *Eucalyptus* se sobressai, com aproximadamente 72% da área plantada (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2017). Sua madeira pode ser usada em diversos setores, como na construção civil, serraria, fabricação de moveis, celulose e papel, produção de carvão e de painéis reconstituídos (VALLE et al., 2013).

A densidade de plantio é uma variável importante a ser definida, pois este influencia a taxa de crescimento das árvores, idade de corte, forma do fuste, qualidade da madeira e os aspectos econômicos do investimento (MAGALHÃES et al., 2007). Devido aos vários efeitos do espaçamento de plantio sobre a qualidade da madeira, pesquisadores e empresas florestais tem despertado o interesse sobre qual é o espaçamento ideal para as árvores se desenvolverem (ROCHA, 2011).

O espaçamento de plantio e a aplicação de desbastes têm grande influência na taxa de crescimento e na produtividade dos plantios florestais, uma vez que se o desbaste for aplicado antes do tempo ou muito intenso, as árvores tendem a produzir ramos laterais e brotos superficiais e se for retardado, as taxas de crescimento diminuem ou o povoamento pode estagnar (SALAS et al., 2013). Em povoamentos tropicais, um bom indicador para a época de aplicação do primeiro desbaste é o fechamento do dossel, o qual tem correlação com a diminuição do crescimento em diâmetro (GALLOWAY et al. 2001). Ferreira et al. (2014) observaram que o desbaste afeta a forma do fuste, onde maiores pesos de desbaste, aumentam a sua conicidade.

Diante do exposto, torna-se necessário conhecer como o espaçamento inicial e a aplicação do desbaste interferem na forma do fuste e nas características da madeira, de forma a otimizar o planejamento e ordenamento dos recursos florestais de um povoamento. Isso é importante para o produtor conhecer os produtos que dali possam ser extraídos. O manejo florestal para multiprodutos permite o direcionamento das atividades para fornecer os multiprodutos, reduzindo os riscos de prejuízo para o produtor, pois agrega uma flexibilidade na comercialização destes produtos (SOARES et al., 2003a). No momento da comercialização, devido a oscilação dos preços no mercado, um dado produto pode ter vantagem sobre outros, apresentando maior valor de mercado e gerando maior receita, o que compensaria as receitas de outros

produtos de menor valor (FERREIRA, 1999; LEITE, 1994). Desta forma, pode-se maximizar os lucros.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar os efeitos do espaçamento e do desbaste na forma do fuste e nas características da madeira de povoamentos de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

2.2 Objetivos Específicos

Analisar o efeito de diferentes espaçamentos iniciais de plantio e pesos de desbaste no fator de forma de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*;

Ajustar e analisar funções de afilamento em árvores de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob diferentes espaçamentos iniciais de plantio e pesos de desbaste;

Verificar o efeito do desbaste e espaçamento sobre a densidade básica e relação cerne/alburno de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Forma da árvore

O rendimento de conversão das árvores em madeira serrada depende de alguns fatores, entre eles a forma do fuste (BALDWIN et al., 2000; NASSUR et al., 2013). O tronco das árvores pode apresentar diferentes formas, desde totalmente irregulares, como é caso das árvores do cerrado, quanto à forma assemelhada a determinados sólidos de revolução ao longo do fuste, assumindo a forma neilóide na base, parabolóide na parte intermediária e cônica na parte final (SCOLFORO; FIGUEIREDO FILHO, 1993). No entanto, é difícil determinar o início e o fim de cada uma destas formas geométricas.

À medida que se aumenta a altura na árvore, há uma redução gradual no diâmetro, sendo este decréscimo conhecido como afilamento ou taper (CAMPOS; LEITE, 2017; NOGUEIRA et al., 2008). Este decréscimo pode ser estimado por meio de modelos de afilamento. O uso de modelos de afilamento objetiva a descrição do perfil longitudinal do tronco. Desta forma, os estudos que envolvem afilamento são embasados em estimar a altura em qualquer diâmetro ou o diâmetro em qualquer altura (CAMPOS; LEITE, 2017). Além disso, considerando-se que a árvore tenha sua seção transversal circular ao longo do tronco, depois de selecionado e ajustado um modelo de afilamento, pode-se estimar o volume entre quaisquer dois pontos do fuste (KERSHAW JUNIOR et al., 2017) por integração da função de afilamento (SOARES et al., 2006).

Apesar da existência de diversos modelos de afilamento, não existe um que seja eficiente em todas as situações (LEAL et al., 2017). Devido a variação na forma das árvores, a maioria dos modelos não descreve todo o fuste com a mesma acurácia. Uma mesma equação pode estimar com acurácia os diâmetros e apresentar viés quando for usada para estimar alturas comerciais. Ainda, pode haver uma baixa exatidão na estimativa do volume na porção da base até diâmetro a 1,3m de altura - *DAP* (CAMPOS; LEITE, 2017).

Segundo Queiroz et al. (2006), funções de afilamento possuem acurácia equivalente às de volume, sendo mais vantajosas por possibilitar maior flexibilidade e estimar o volume em quaisquer porções da árvore. As funções de afilamento são um instrumento na avaliação do maciço florestal, permitindo valorar, de maneira

detalhada, o rendimento da floresta, sendo muito importante na tomada de decisões no manejo florestal, como escolher a época de realizar podas ou desbastes (FISCHER et al., 2001).

Existem várias formas de classificar as funções de afilamento, Campos e Leite (2017) agruparam em dois tipos:

- Modelos não-segmentados: são aqueles em que uma única função representa toda a forma do fuste, sendo fácil de modelar e empregar (CAMPOS; LEITE, 2017). Pode-se usar as relações funcionais e transformá-las em equações de volume ou para o cálculo de alturas comerciais, (PRODAN et al 1997). Em contrapartida, podem apresentar erros de tendência ao se estimar diâmetro em certa porção do fuste. Os mais difundidos são: Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973), Garay (1979), Biging (1984) e Schöpfer (1966) apresentados no Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos simples de afilamento e seus respectivos autores.

Autor	Modelo
Ormerod (1973)	$Y^2 = \left[\frac{(H_j - h_{ij})}{(H_j - 1,30)} \right]^{2\beta_1} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$
Demaerschalk (1972)	$Y^2 = 10^{2\beta_0} DAP_j^{(2\beta_1-2)} H_j^{2\beta_2} (H_j - h_{ij})^{2\beta_3} + \varepsilon_{ij} \quad (2)$
Kozak et al. (1969)	$Y^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right)^2 + \varepsilon_{ij} \quad (3)$
Biging (1984)	$Y = \beta_1 + \beta_2 \text{Ln} \left(1 - \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right)^{1/3} \cdot (1 - e^{(-\beta_1/\beta_2)}) \right) + \varepsilon_{ij} \quad (4)$
Schöpfer (1966)	$Y = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right)^5 + \varepsilon_{ij} \quad (5)$
Garay (1979)	$Y = \beta_0 \left\{ 1 + \beta_1 \text{Ln} \left(1 - \beta_2 h_{ij}^{\beta_3} H_j^{-\beta_3} \right) \right\} + \varepsilon_{ij} \quad (6)$

Em que: Y: Variável dependente (d.dap⁻¹); H_j: altura total (m) da j-ésima árvore; h_{ij}: altura (m) da j-ésima árvore na i-ésima posição do fuste; d: diâmetro na altura h_{ij} (cm); DAP_j: diâmetro medido a 1,30m do solo (cm) da j-ésima árvore; β_i: parâmetros da regressão, sendo i: 0,1,...,n; Ln: logaritmo neperiano; e: base do logaritmo neperiano; ε_{ij}: erro aleatório.

- Modelos segmentados: são variações dos modelos polinomiais, e, sendo mais difíceis de serem trabalhados, devem ser ajustados duas ou três equações por seção do fuste, objetivando diminuir erros de tendência na estimação de

diâmetros ao longo do fuste. Max e Burkhart (1976), sugerem unir três polinômios quadráticos sob restrição de continuidade, este modelo e outros são apresentados na Tabela 2 (NICOLETTI et al., 2016).

Tabela 2 – Modelos segmentados de afilamento e seus respectivos autores.

Autor	Modelo
Max e Burkhart (1976)	$d_i = DAP \left[\frac{\beta_1(X-1) + \beta_2(X^2-1) + \beta_3(a_1-X)I_1 + \beta_4(a_2-X)^2 I_2}{\beta_4(a_2-X)^2 I_2} \right]^{0,5} + \varepsilon_{ij} \quad (7)$
Demaerschalk e Kozak (1977)	$d_t = \left[\left(\frac{h_{ij}/H_j}{RH} \right)^{\beta_1} \beta_2 \left(1 - \frac{h_{ij}/H_j}{RH} \right) \right] DI + \varepsilon_{ij} \quad (8)$ $d_b = \left[\beta_3 - (\beta_3 - 1) \left(\frac{1 - h_{ij}/H_j}{RHI} \right)^{\beta_4} \right] DI + \varepsilon_{ij}$
Parresol et al., (1987)	$d_i = DAP \left\{ \frac{Z^2(\beta_1 + \beta_2 Z) + (Z - a)^2}{[\beta_3 + \beta_4(Z + 2a)]I} \right\}^{0,5} + \varepsilon_{ij} \quad (9)$

Em que: $X : h_{ij} / H_j$ (m); $i : 1, 2$; a_1 e a_2 : os pontos de ligação dos polinômios; d_i : diâmetro comercial (cm); h_i : altura ao longo do fuste da árvore (m) DAP : diâmetro a 1,3m do solo (cm); I_i : 1, se $X \leq a_i$; I_i : 0, se $X > a_i$; d_t : diâmetro comercial na parte do fuste abaixo do ponto de inflexão (cm); d_b : diâmetro comercial na parte do fuste acima do ponto de inflexão (cm); RH : é a altura relativa do DI ao topo; RHI : é a altura relativa do DI até o nível do solo; DI : diâmetro no ponto de inflexão; $Z = 1/(h_{ij} / H_j)$; β_i : parâmetros da regressão, sendo $i : 0, 1, \dots, n$; ε : erro aleatório.

Os modelos não segmentados são desenvolvidos com o conceito que a forma da árvore assume apenas uma forma geométrica, o que pode ocorrer em baixa acurácia nas estimativas nas extremidades das árvores, sendo considerados menos flexíveis que os modelos segmentados, os quais, de certa forma, corrigem este efeito na base e no topo, tendo como inconveniente as restrições dos pontos de inflexão, no momento do ajuste (MÔRA, 2015).

De acordo com Campos e Leite (2017); Nogueira et al. (2008) e Scolforo e Thiersch (2004), o afilamento pode ser afetado por uma série de fatores, entre eles:

- (i) Idade: árvores jovens, de livre crescimento, têm longas copas e geralmente são muito afiladas. A conicidade tende a diminuir com a idade;
- (ii) Espécie: o gênero *Pinus* tende a ser mais cilíndrica do que o gênero *Eucalyptus*;

- (iii) Desbaste: em povoamentos com aplicação de desbastes leves apresentam árvores com menor conicidade. Quando se aplica desbastes pesados tende a aumentar sua conicidade;
- (iv) Posição sociológica da árvore: árvores dominantes tendem a possuir maior conicidade em relação às árvores dominadas. A medida em que decresce a classe da copa há uma melhoria na forma da árvore.
- (v) Podas: com a diminuição da copa das árvores, ocorre crescimento proporcionalmente maior nas partes superiores do tronco, diminuindo a conicidade, o que confere melhor forma da árvore;
- (vi) Sítio: árvores crescendo em sítios mais produtivos apresentam crescimento em diâmetro relativamente maior na base da copa, apresentando uma forma mais cilíndrica;
- (vii) Espaçamento: em plantios mais densos as árvores têm uma tendência a formar troncos mais cilíndricos, que pode resultar em maior rendimento para serrarias em processo de laminação (BALDWIN et al., 2000; NOGUEIRA et al., 2008). Árvores que crescem isoladamente possuem uma copa maior e conseqüentemente a forma tende a ser menos favorecida para serraria, quando comparadas àquelas, que se desenvolvem em povoamentos florestais.

Além dos modelos de afilamento, pode-se obter estimativas de volume usando o fator de forma. Quanto mais próximo de 1 (um) for o fator de forma, mais cilíndrica é a árvore. O volume real pode ser considerado como uma porcentagem do volume de um cilindro, definido pela altura comercial ou total de uma árvore e pelo *DAP* ou pelo diâmetro a 10% da altura árvore, sendo chamada de fator de forma normal (10) ou natural (11), respectivamente. Assim, pode-se estimar o volume de uma árvore multiplicando o fator de forma médio de uma espécie pelo volume do cilindro (12) (SOARES et al., 2006), o qual fornece estimativas confiáveis, desde que se controle idade, espaçamento, desbaste e sítio (FRANCO et al., 1997; SCOLFORO, 1998a).

$$f_{1,3} = \frac{V_{real}}{V_{cilindro}} \quad (10)$$

$$f_{0,1} = \frac{V_{real}}{V_{cilindro}} \quad (11)$$

$$\hat{v} = v_{cilindro} \cdot \bar{f} \quad (12)$$

Em que: \hat{v} : volume estimado (m³); \bar{f} : fator de forma médio; $\bar{f}_{1,3}$: fator de forma natural; $\bar{f}_{0,1}$: fator de forma natural;

Uma das mais importantes avaliações externas de qualidade do fuste é a sua forma, que geralmente é utilizada como critério para determinação do sortimento florestal. Fustes que apresentam curvatura e afilamento acentuados são relacionados com propriedades mecânicas da madeira ruins, alto custo no processamento das toras e baixo rendimento nas serrarias (TONG; ZHANG, 2008).

3.2 Qualidade da madeira

A madeira é um elemento orgânico altamente heterogêneo, composto basicamente de celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos. Por ser um material heterogêneo, podem ocorrer variações destes componentes químicos entre espécies, e, dentro de uma mesma espécie, entre árvores e até em nível celular (PANSHIN; ZEEUW, 1980). Esta variação nas suas propriedades, ocorre também em relação a idade, posição geográfica, características edafoclimáticas em que a floresta foi plantada e condições de crescimento na qual a árvore está submetida (CARNEIRO, 2006; RAGLAND et al., 1991).

Em decorrência de variações de suas características, a madeira apresenta uma versatilidade de usos para obtenção de multiprodutos. Desta forma, para se inferir sobre a qualidade dos produtos gerados, torna-se necessário conhecer as propriedades da madeira, já que as características do produto final estão diretamente ligadas à qualidade da matéria-prima (ARANTES, 2009). Com o aumento na demanda de produtos de alta qualidade, são necessários não apenas florestas com alta produção, mas também matérias-primas com padrões superiores (MOSCA, 2010).

A exigência nas propriedades tecnológicas da madeira pode variar de acordo com o uso final do produto, como madeira para celulose e papel, energia ou serraria. Para o uso de madeira maciça (estrutural, móveis, pisos etc.), os principais requisitos de qualidade são resistência mecânica, estabilidade dimensional, propriedades organolépticas e facilidade no processamento. (CHAUHAN; AGGARWAL, 2011). Para celulose, a densidade básica, o teor de celulose e o comprimento das fibras devem

ser levados em consideração, enquanto para painéis reconstituídos, a densidade básica, o conteúdo de lignina, o conteúdo de extrativos e o teor de celulose. Já para serraria, a densidade básica, o ângulo microfibrilar, a força e rigidez, a estabilidade dimensional, a contração e o colapso, madeira de tensão, forma do fuste, tamanho do nó e tipo de grã (RAYMOND; APIOLAZA, 2004) devem ser levados em consideração. Para fabricação de carvão, a densidade básica, o poder calorífico, a constituição química e a umidade (OLIVEIRA et al., 2010) das madeiras são características importantes de serem analisadas.

Para o manejo florestal, interessa saber o quanto se pode controlar a qualidade da madeira, sendo necessário o conhecimento das propriedades que mais a explicam e até que ponto são influenciadas por fatores genéticos, ambientais e pelos tratamentos silviculturais (GOULART, 2003).

Os tratamentos silviculturais agem diretamente sobre as propriedades da madeira (ROCHA, 2011). Dentre eles, podemos citar o espaçamento, que proporciona o espaço necessário para a planta se desenvolver, sendo considerado um dos pontos principais dentro do planejamento de implantação de um povoamento florestal (SCOLFORO 1998a).

3.2.1 Densidade básica da madeira

Variações na qualidade da madeira podem ser detectadas intra e interespecíficas, pelas alterações na composição química, estrutura anatômica e nas propriedades físicas (TOMAZELLO FILHO, 1985). Dentre as propriedades físicas da madeira, a densidade básica é considerada um dos principais indicadores de qualidade, por ser de fácil determinação e por influenciar as demais propriedades (DIAS et al., 2017; HASELEIN et al., 2002).

A densidade básica pode ser definida como a relação entre a massa seca em estufa a 103 ± 2 °C dividido pelo seu respectivo volume saturado. É considerada uma informação confiável da quantidade de matéria seca em um dado volume de madeira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), usualmente expressa em g.cm^{-3} ou kg.m^{-3} (CAMPOS; LEITE, 2017; SANTOS, 2010). É importante na determinação do uso de uma madeira, pois controla a amplitude nas mudanças dimensionais que esta sofre devido às alterações no conteúdo de umidade abaixo do Ponto de Saturação das Fibras - PSF (KEINERT JUNIOR, 1980). Por estar em

condições muito estáveis na madeira, este tipo de densidade estabelece mais claramente os critérios de comparação (KOLLMAN, 1959).

A densidade básica é alterada pela ação de fatores internos como a espessura da parede celular, quantidade de vasos, dimensões da fibra, teor de extrativos, e fatores externos, sendo os principais: condições edafoclimáticas, sistema de implantação e condução da floresta (ARANGO; HOYOS, 2001; GOULART, 2003; RUY, 1998). Também varia significativamente entre espécies, entre árvores e até mesmo dentro de uma mesma árvore, no sentido base-topo e casca-medula (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; MILAGRES 2009; SOUZA et al. 1986; TOMAZELLO FILHO, 1985).

Para a produção de carvão vegetal, madeiras com uma maior densidade ocasionam em carvão mais denso, resultando em uma maior quantidade de carvão por unidade de volume (SANTOS et al, 2011). Madeiras com menor densidade básica apresentam vantagens na produção de celulose, como menor carga alcalina e carga mais baixa dos sólidos para recuperação, porém, como desvantagem resulta em um consumo maior de madeira (GOMIDE et al., 2005).

3.2.2 Relação cerne/alburno

A avaliação do cerne e do alburno se constitui em parâmetro de qualidade, uma vez que afeta tanto o uso da madeira sólida, quanto os processos de sua transformação em produtos derivados, tais como celulose, chapas de fibras etc (TOMAZELLO FILHO, 2006), De acordo com a finalidade da madeira, as diferenças entre cerne e alburno podem ser importantes ou não, haja vista o alburno ser considerado inferior para alguns objetivos e, em alguns casos, descartado durante a conversão. (BAMBER,1987). A proporção entre cerne e alburno na madeira tem um impacto significativo sobre os seus usos, devido às diferenças físicas e bioquímicas (CHERELLI, 2015; YANG; HAZENBERG,1991).

Algumas dessas características, como os compostos fenólicos e ácidos, são mais presentes no cerne, o qual também apresenta uma menor quantidade de amido. Por haver menor atividade fisiológica, o cerne é menos permeável, coloração mais escura e mais resistente ao ataque de agentes xilófagos, se comparado com o alburno (BURGER; RICHTER; 1991).

Por causa dessas diferenças, cerne e alburno apresentam comportamentos diferenciados de acordo com seu uso (SILVA; TRUGILHO, 2003). Por ter um baixo teor de extrativos, frequentemente o alburno é mais usado para produção de pasta para papel, enquanto o cerne é mais usado para construção civil e na indústria de móveis, pela sua maior resistência natural (WILKINS, 1991). Quando se pretende tratar com preservativos a madeira roliça, é indicado o uso de uma maior proporção de alburno (GONÇALVES et al., 2010).

O processo de transformação de alburno em cerne é conhecido como cernificação e é ocasionado pela morte das células do parênquima radial, consumo de amido e de oxigênio e liberação de CO₂. Em decorrência a alteração da atividade fisiológica, há um aumento no teor de extrativos, principalmente polifenóis que dão uma cor mais escura (HIGUCHI, 1997).

Quanto à variação do cerne ao longo do fuste, diversos autores encontraram a mesma associação, em que a porcentagem do cerne diminui no sentido base-topo, entre eles: Gominho e Pereira (2000), Alzate (2004), Lopes et al. (2004), Haselein et al. (2004), Gonçalves et al. (2010). Variações que ocorrem, em árvores adultas, nas proporções de cerne e alburno e, conseqüentemente, nas suas características, são determinadas por fatores como material genético, idade, posição na árvore, ritmo de crescimento e área foliar (HILLIS, 1987; SMITH et al., 1996; WILKES, 1991;).

3.3 Espaçamento inicial de plantios florestais

A densidade de um povoamento florestal indica o grau de ocupação do solo pelas árvores. Pode ser expressa em termos de área basal, volume, número de árvores, superfície de copas por unidade de área e por índices que relacionam diferentes variáveis dendrométricas, como o “Stand Density Index” (SDI) e o Índice de Espaçamento Relativo (S%) (SCHNEIDER, 1993). Todos estes índices e variáveis buscam expressar tanto o grau de ocupação das árvores quanto sua capacidade de crescimento (FINGER; SCHNEIDER, 1999), em que maiores densidades implicam em menor crescimento em diâmetro, sendo necessário uma intervenção no plantio por meio de tratos silviculturais, como o desbaste.

Ao manejar um povoamento florestal deve-se levar em consideração todos os fatores que influenciam no desenvolvimento das árvores, com o intuito de aproveitar ao máximo a capacidade produtiva do sítio (SCHNEIDER et al., 1998). O espaçamento

é uma variável importante a ser definido previamente na implantação de um povoamento florestal. O objetivo da escolha do espaçamento é que cada planta tenha uma área útil na qual proporcione maior crescimento em altura e diâmetro, com qualidade e menor custo (CHIES, 2005; SCOLFORO, 1998b), uma vez que este pode afetar o crescimento das plantas, a exploração, os custos de produção (BALLONI, 1983; CONTRERAS-MARQUEZ, 1997), qualidade da madeira e idade de corte (MAGALHÃES, 2006).

O espaçamento de plantio influencia na otimização dos recursos disponíveis (REIS; REIS, 1993), na taxa de crescimento, quantidade e qualidade do material produzido, no recobrimento do solo e no manejo do povoamento, além dos custos de nas atividades de implantação, manutenção e colheita (PIÑA-RODRIGUES et al., 1997). Recomenda-se o plantio em densidades menores nos sítios de maior produtividade, pois nestes, as mudas apresentam maior ritmo de crescimento e a competição ocorre mais cedo, enquanto nos de menor produtividade, pode-se diminuir o espaçamento. Entretanto, em sítios muito pobres, se houver uma baixa disponibilidade dos recursos, a capacidade de suporte será menor, devendo diminuir a densidade do plantio (SCOLFORO, 1998b).

O número de árvores por unidade de área pode ser determinado pela quantidade de indivíduos que pode se desenvolver, de forma que se aproveite da melhor forma possível os recursos disponíveis, e, assim, produzir maior volume dos produtos florestais em tamanho, melhor forma e qualidade (MACEDO, 2005). Ao considerar tanto o comportamento das espécies florestais quanto a exigência na qualidade da madeira para celulose, energia ou serraria, sabe-se que o espaçamento difere para cada objetivo citado (BALLONI; SIMÕES, 1980). Sabe-se que os maiores espaçamentos geram menor competição por recursos, o que resulta em um maior desenvolvimento e maior incremento individual de madeira (SILVEIRA et al., 2014).

Não se deve escolher o espaçamento inicial com base apenas no uso final dos produtos, mas deve-se considerar que existem implicações do ponto de vista ecológico, silvicultural, tecnológico e econômico (LEITE et al., 2006; SCOLFORO, 1998b). O espaçamento pode afetar o desenvolvimento e a produtividade dos plantios. Em relação ao crescimento vegetal, as plantas entram em competição quando os recursos disponíveis diminuem, sendo assim, o espaçamento determina o tempo e a intensidade da competição (HARRINGTON et al., 2009). Nos plantios mais adensados, pode acentuar os efeitos da deficiência hídrica, de nutrientes, luz e

espaço, face à intensa competição intraespecífica (LELES et al., 1998). Plantios muito adensados acarretam em toras de pequeno diâmetro e muitas árvores dominadas, comprometendo o volume final do povoamento (LEITE et al., 1997;). Já Couto et al. (2002) afirmaram que os menores espaçamentos, resultam em menor diâmetro quadrático e menor porcentagem de sobrevivência, porém uma maior área basal por hectare e um maior volume total.

Os diferentes espaçamentos podem também influenciar na resposta da planta na produção e partição de fotoassimilados, em consequência da competição. Bernardo et al. (1998) conduziram um experimento com *Eucalyptus camaldulensis*, *E. urophylla* e *E. pellita*, com o objetivo de avaliar o crescimento e acúmulo de biomassa, em diferentes partes de plantas ao longo do tempo e, em diferentes espaçamentos. Os autores observaram que em espaçamentos mais abertos de *E. urophylla* e *E. pellita* houve uma redução na proporção de biomassa do tronco em relação a biomassa total, havendo uma alocação da biomassa para as folhas e raízes laterais e em *E. camaldulensis* para as raízes com diâmetro maior que 2 mm também houve essa diminuição. Em plantio de *E. pellita* com espaçamento de 9 x 9 m, Leles (1995) observou que esta espécie aloca grande quantidade de fotoassimilados na produção das raízes. A partir dessa observação verifica-se que, em espaçamentos muito amplos, a alocação da biomassa ocorre em partes da árvore que não são exploradas comercialmente.

A altura é menos influenciada pelo efeito de espaçamento do plantio quando comparada com o diâmetro. As árvores que crescem em maiores espaçamentos resultam em maiores diâmetros, porém com altura similar àquelas que se desenvolvem em espaçamentos mais estreitos (SMITH; STRUB, 1991), além de maior conicidade, galhos mais grossos e copas mais extensas que árvores cultivadas em plantios mais densos (CHIES, 2005). A idade de estagnação do crescimento também é influenciada pela densidade do povoamento (LEITE et al., 2006) e consequentemente a idade de corte da floresta, ocorrendo a exploração de forma mais precoce e frequente em menores espaçamentos para uma mesma espécie e sítio (SCOLFARO, 1997).

3.4 Desbaste em povoamentos florestais

O desbaste é um dos mais importantes tratamentos silviculturais do povoamento, que consiste na redução do número de árvores por hectare, para diminuir a competição e proporcionar mais espaço para as árvores remanescentes (SOARES et al., 2003b). Desta forma, visa melhorar o aproveitamento dos recursos disponíveis, e obter maiores dimensões do produto final com melhor qualidade, aumentando o valor agregado (CAMPOS; LEITE, 2017; FINGER, SCHNEIDER, 1999; SCHNEIDER et al., 1998; SCHNEIDER, 2002). Os desbastes devem ser realizados com base no objetivo final da produção e de acordo com a necessidade de crescimento das árvores, ocorrendo quando a competição começa a interferir no seu desenvolvimento.

Em síntese, os desbastes permitem um maior desenvolvimento das árvores de forma individual, aumentando assim o seu valor agregado, com um maior aproveitamento industrial, sendo que os dois primeiros desbastes vão determinar o tipo e a qualidade da madeira a ser obtida no corte final (ALVES, 1982; FINGER; SCHNEIDER, 1999). Para produzir árvores de grande porte com qualidade desejável, o desbaste torna-se o tratamento silvicultural mais indicado, por direcionar o potencial produtivo para as árvores remanescentes, o que acabam tendo maior crescimento (OLIVEIRA et al., 2012). Nogueira (2003) acrescenta que a retomada do crescimento resulta em aumento significativo do diâmetro das árvores remanescentes, as quais ingressam em outras classes de diâmetro.

Os efeitos do desbaste no povoamento podem ser caracterizados quanto ao tipo, intervalo e intensidade. Quanto ao tipo, podem ser sistemáticos, seletivos ou mistos. O intervalo refere-se à frequência de realização destes, e quanto a peso, entende-se como a quantidade de área basal, volume de madeira ou número de árvores removidas do povoamento em cada intervenção, podendo ser fraco, moderado ou forte (CAMPOS; LEITE, 2017).

No desbaste seletivo, os indivíduos removidos incluem aqueles que possuem características indesejáveis, como árvores dominadas, defeituosas, ou as mortas. Os remanescentes são escolhidos usando características previamente estabelecidas, com base no objetivo do produto final. (AGUIAR, 1995). No sistemático, as árvores são removidas de acordo com um sistema predeterminado, não sendo considerada a qualidade das mesmas para tal decisão, tendo com vantagem um menor custo e como desvantagem, a possibilidade de remover árvores de qualidade superior e manter árvores de menor qualidade (CAMPOS; LEITE, 2017). O desbaste misto é qualquer combinação entre os dois.

Monte et al. (2009) relatam que estudando crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste, constaram que o povoamento não desbastado estagnou o crescimento aos 80 meses, enquanto o desbastado só ocorreu aos 100 e 110 meses de idade. Isso implica que para obter toras de maior diâmetro, seria necessária aplicação de desbaste nestas idades. Zanuncio et al (2013), estudando a composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste, concluíram que o desbaste aumentou a qualidade da madeira para fins energéticos, como carvão, porém, para produção de papel e celulose não melhorou. Trevisan et al. (2009) verificaram que o efeito da intensidade de desbaste na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* aos 14 anos foi significativa, onde maiores pesos de desbaste reduziram o índice de rachaduras no topo das tábuas das árvores dominantes. O mesmo autor complementa que o arqueamento das tábuas das árvores dominantes e médias também foi influenciado pelo desbaste, porém, sem tendência.

Para se ter uma avaliação mais precisa de tais efeitos, torna-se necessário uma análise abordando tanto o fator econômico quanto aos dados da produção. (CLUTTER et al., 1983). Nestas avaliações, deve-se incorporar matemática financeira, pesquisa operacional e modelos de crescimento e produção, usando dados do povoamento desbastado (NOGUEIRA, 2003). Como exemplo de aplicação de modelos de crescimento e produção, podem-se citar: Clutter (1963), Sullivan; Clutter (1972), Campos et al. (1988) e Mendonça et al. (2017).

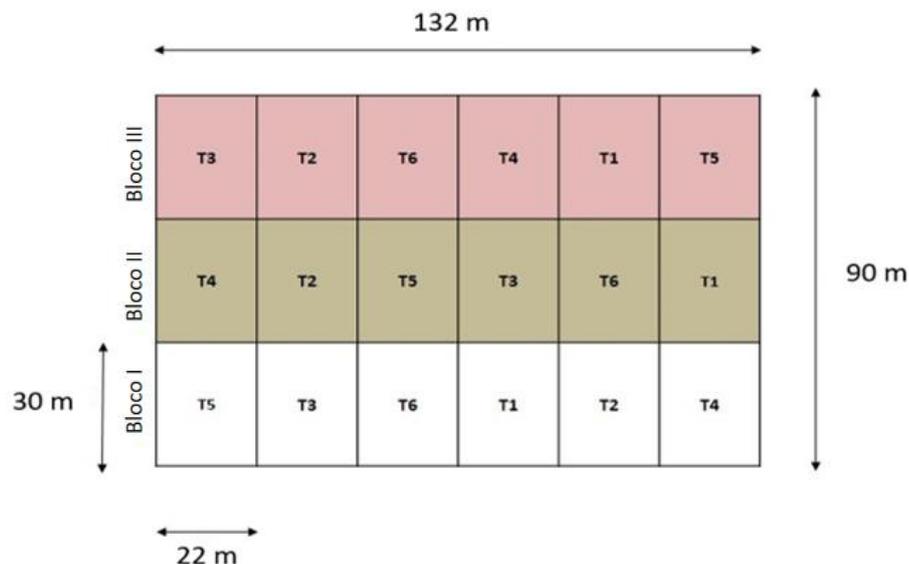
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em uma área de plantio experimental de um clone do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* de aproximadamente 1,26 ha, no município de Sooretama, ES. Este experimento faz parte do PROJETO BIOMAS/MATA ATLÂNTICA. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é Af, caracterizado como tropical quente úmido com chuvas no verão e inverno seco. A temperatura média é de 23,4°C, índice pluviométrico de 1.200 mm.ano⁻¹ e um relevo plano em 95% do município e a vegetação predominante é Floresta de Terra Firme sobre Tabuleiros (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, 2013).

O plantio das mudas foi realizado em maio de 2013. O experimento foi instalado sob o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições e seis tratamentos (Figura 1). Os tratamentos avaliados foram: espaçamentos de plantio de 3x3 m (T1), 3x2 m (T2), 2x2m (T3) sem aplicação de desbastes e espaçamento 2x2m com remoção de 20% (T4), 40% (T5) e 60 % (T6) da área basal com aplicação de desbaste seletivo.

Figura 1 – Esquema experimental apresentando os blocos e tratamentos avaliados.



O desbaste (T4, T5 e T6) foi realizado aos 40 meses e foram coletadas amostras para análise da densidade básica da madeira de desbaste. Foi realizado inventário florestal aos 61 meses, com medição do diâmetro a 1,3 m do solo (*DAP*), altura total (*H*) e amostragem para avaliação da densidade básica e relação cerne/alburno.

4.2 Avaliação da forma da árvore

Nas árvores-amostra foram medidos os diâmetros nas alturas de 0,05; 0,70; e 1,30m e a partir do *DAP*, em seções de 1 m até o diâmetro de 4 cm para as árvores que foram abatidas e até 7 cm para as que foram cubadas em pé, sendo o volume com casca das seções obtido pelo método de Smalian (CAMPOS; LEITE, 2017). As estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas das árvores-amostra estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3– Estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas das árvores-amostra de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, obtidas por meio da cubagem aos 61 meses.

Tratamento		<i>DAP</i> (cm)				<i>H</i> (m)			
Espaçamento (m)	G removida (%)	Mín	Méd	Máx	CV (%)	Mín	Méd	Máx	CV (%)
3 x 3	0	9,5	14,0	22,3	19,8	15,0	20,5	26,4	12,3
3 x 2	0	8,2	12,8	19,5	23,1	13,4	19,3	24,5	15,8
2 x 2	0	7,7	11,4	17,0	19,1	13,0	16,9	20,5	12,1
2 x 2	20	9,0	12,2	16,6	15,9	12,0	17,5	21,0	11,6
2 x 2	40	9,8	13,3	20,3	18,4	14,0	16,5	20,7	10,5
2 x 2	60	9,4	13,1	19,5	17,2	13,7	17,1	22,3	12,7

Em que: *DAP*: diâmetro a 1,3m do solo; *H*: altura total; Mín: mínimo; G: área basal; Máx: máximo; Méd: média CV (%): Coeficiente de Variação. Fonte: o autor.

As árvores foram agrupadas em cinco classes diamétricas. A amplitude das classes foi definida após o inventário florestal aos 61 meses. Para o ajuste dos modelos de afilamento e cálculo do fator de forma normal, foram cubadas 30 árvores por tratamento, sendo cinco abatidas para retirada de discos para análise da densidade básica e relação cerne/alburno e 25 cubadas em pé, usando o Dendrômetro Digital Criterion RD1000. Após isso foi feita a cubagem rigorosa utilizando a fórmula de Smalian (Equação 13).

$$v_i = \frac{(g_i + g_{i+1}) \cdot l}{2} \quad (13)$$

Em que: v_i : volume da tora (m^3); g_i : área seccional na base da tora (m^2); g_{i+1} área seccional no topo da tora (m^2); l : comprimento da tora (m).

Para obtenção das estimativas de diâmetro ao longo do fuste, foram ajustados os seguintes modelos de afilamento, para cada tratamento avaliado:

a) Ormerod (1973)

$$d_i = DAP_j \sqrt{\left[\frac{(H_j - h_{ij})}{(H_j - 1,30)} \right]^{\beta_1}} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

b) Demaerschalk (1972)

$$d_i = 10^{\beta_0} DAP_j^{\beta_1} H_j^{\beta_2} (H_j - h_{ij})^{\beta_3} \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

c) Kozak et al. (1969)

$$d_i = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right)^2} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

d) Biging (1984)

$$d_i = DAP_j \left\{ \beta_1 + \beta_2 \operatorname{Ln} \left(1 - \left(\frac{h_{ij}}{H_j} \right)^{1/3} \cdot (1 - e^{(-\beta_1/\beta_2)}) \right) \right\} \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Em que: Y : Variável dependente ($d \cdot DAP^{-1}$); H_j : altura total (m) da j -ésima árvore; h_{ij} : altura (m) da j -ésima árvore na i -ésima posição do fuste; d : diâmetro na altura h_{ij} (cm); DAP_j : diâmetro medido a 1,30m do solo (cm) da j -ésima árvore; β_i : parâmetros da regressão, sendo i : 0,1,...,n; Ln : logaritmo neperiano; e : base do logaritmo neperiano; ε_{ij} : erro aleatório.

Foi utilizado o *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2015) para o ajuste dos modelos de regressão, por meio da função *nls* para modelos não lineares, que faz uso do algoritmo Gauss-Newton. Para verificar a significância dos parâmetros estimados dos modelos de regressão, foi utilizado o teste *t* a 5% de significância.

Para análise da acurácia destes modelos foram utilizadas as estatísticas (Tabela 4): raiz do erro quadrático médio (RQME), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajus}) e Viés (V%). A partir destas análises foi feito o ordenamento das equações de acordo com sua acurácia, sendo atribuídos pesos de 1 a 4 para cada estatística. O melhor modelo foi aquele que obteve o menor somatório das notas atribuídas as estatísticas da Tabela 4 para todos os tratamentos analisados.

Tabela 4– Estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho dos modelos de regressão.

Estatísticas	Fórmulas
Raiz do erro quadrático médio (%)	$RQME(\%) = \frac{100}{\bar{Y}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (14)$
Coeficiente de determinação	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (15)$
Coeficiente de determinação ajustado	$\bar{R}^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) (1 - R^2) \quad (16)$
Viés (%)	$V(\%) = \frac{100}{\bar{Y}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n} \quad (17)$

Em que: Y_i : diâmetro observado (cm), \hat{Y}_i : diâmetro estimado (cm), \bar{Y} : média do diâmetro observado (cm), n : número de observações; p : número de parâmetros;

Uma avaliação complementar foi realizada com base na análise gráfica entre os dados observados e estimados, distribuição dos erros percentuais e histograma de erros percentuais. O erro de cada observação em porcentagem foi calculado utilizando a Equação 18.

$$E_i(\%) = 100 \cdot \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \quad (18)$$

Em que: $E_i(\%)$: erro de cada observação; Y : diâmetro observado (cm), \hat{Y} : diâmetro estimado (cm).

Após a análise dos modelos, foram plotados gráficos do perfil médio das árvores utilizando o melhor modelo. Foi utilizada uma árvore média para cada tratamento, sendo considerado para tal o diâmetro médio e a média aritmética das alturas das árvores com *DAP* médio por espaçamento inicial de plantio e por peso de desbaste. Também foi calculado a diferença de diâmetro na base e no topo das árvores para cada tratamento (equação 19).

$$D(\%) = 100 \cdot \frac{d_y - d_x}{d_y} \quad (19)$$

Em que: $D(\%)$: diferença de diâmetro entre dois tratamentos; d_y : diâmetro do tratamento y (cm), d_x : diâmetro do tratamento x (cm).

4.2.1 Teste de identidade de modelos

O teste de identidade de modelos foi aplicado com o intuito de verificar se o perfil das árvores diferem entre si nos diferentes espaçamentos ou pesos de desbaste. Após o ajuste e avaliação dos modelos de afilamento, foi selecionado um modelo para representar o afilamento do fuste por espaçamento e peso de desbaste. Após isso, por meio do teste de identidade de modelos proposto por Graybill (1976) e demonstrado por Regazzi (1993), foi analisado se uma única equação pode representar o comportamento dos espaçamentos e dos pesos de desbaste. Foi realizado o agrupamento dos espaçamentos ou dos pesos de desbaste separadamente, considerando todas as combinações possíveis (Tabela 5).

Tabela 5– Agrupamento dos espaçamentos e pesos de desbaste para testar hipóteses de igualdade entre equações, pelo teste de Graybill (1976).

Hipótese	Tratamento	Agrupamento
a	Espaçamento de Plantio	T1, T2 e T3
b		T1 e T2
c		T1 e T3
d		T2 e T3
e	Pesos de desbaste	T3, T4, T5 e T6
f		T3, T4 e T5
g		T3, T4 e T6
h		T3, T5 e T6
i		T4, T5 e T6
j		T3 e T4
k		T3 e T5
l		T3 e T6
m		T4 e T5
n		T4 e T6
o	T5 e T6	

Em que: T1: espaçamento 3 x 3m sem desbaste; T2: espaçamento 3 x 2m sem desbaste; T3: espaçamento 2 x 2m sem desbaste; T4: espaçamento 2 x 2m com 20% de desbaste; T5: espaçamento 2 x 2m com 40% de desbaste; T6: espaçamento 2 x 2m com 60% de desbaste. Fonte: o autor.

As hipóteses do teste identidade formuladas são (REGAZZI, 1996):

- (H₀): Os modelos completos são estatisticamente iguais ao modelo reduzido;
- (H_a): Nem todos os modelos completos são estatisticamente iguais ao modelo reduzido.

O procedimento de análise de variância para o teste de identidade das equações analisadas é apresentado na Tabela 6

Tabela 6 – Análise de variância para os testes de identidade de modelos.

FV	GL	SQ	QM	F _c
Modelo completo	l*p	SQ completo		
Modelo reduzido	p	SQ reduzido		
Diferença (H ₀)	(l-1)*p	$SQ_{\text{completo}} - SQ_{\text{reduzido}}$	$\frac{SQ_{\text{diferença}}}{(l-1)*p}$	$\frac{QM_{\text{diferença}}}{QM_{\text{resíduo}}}$
Resíduos	n-(l*p)	$SQ_{\text{Total}} - SQ_{\text{completo}}$	$SQ_{\text{resíduo}}/n-(l*p)$	
TOTAL	n	SQ Total		

Em que: FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; F_c : valor da estatística F calculada; l= número de tratamentos; p= número de parâmetros do modelo reduzido; n= número de observações do modelo completo.

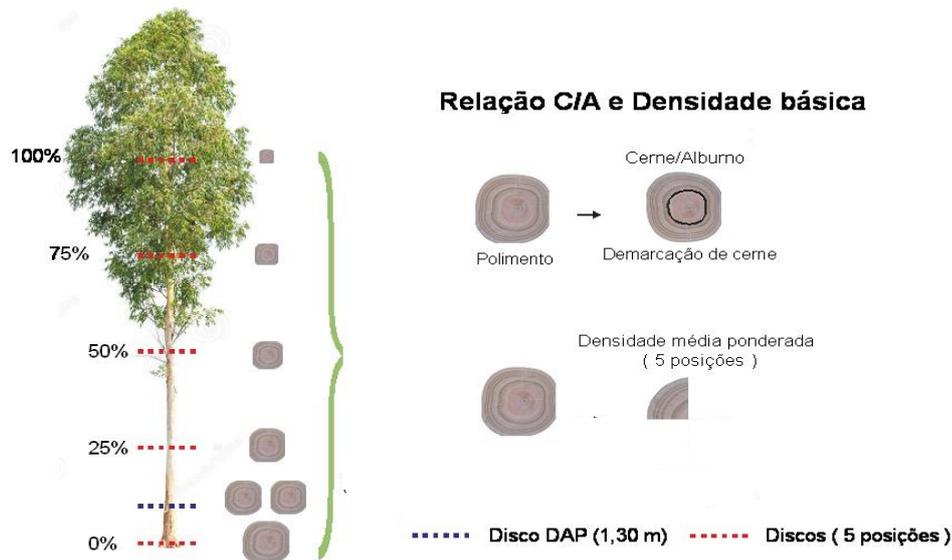
Quando F_c maior que o $F_{5\%((l-1)*p; n-(l*p))}$, rejeita-se a hipótese H_0 , não sendo possível utilizar uma única equação ajustada para estimar os diâmetros ao longo do fuste dos tratamentos avaliados, com as curvas de perfil médio distinguindo entre si (REGAZZI; SILVA, 2010; ARAÚJO et al., 2012; CAMPOS; LEITE, 2017).

4.3. Avaliação da densidade básica e relação cerne/alburno

Aos 40 meses foi caracterizado a densidade básica, sendo retirados discos com espessura de 5 cm no *DAP* e nas posições: 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Aos 61 meses, para a caracterização da madeira dos tratamentos analisados, foram avaliadas a densidade básica e a relação cerne/alburno. Foram escolhidas aleatoriamente e abatidas cinco árvores-amostra com diâmetro médio por tratamento para retirada de corpos de prova para as análises da qualidade da madeira (Figura 2). Discos com espessura de 5 cm foram coletados no *DAP* e nas posições: 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores (4 cm) e tirado a média aritmética das 5 posições. No *DAP*, foram retirados dois discos de cada árvore, sendo um para relação cerne/alburno e outro para densidade básica (Figura 2). Os discos foram encaminhados ao Laboratório de Ciência da Madeira, da Universidade Federal do Espírito Santo, em Jerônimo Monteiro, para as análises.

A densidade básica e relação cerne/alburno foram analisadas por meio de análise de variância a 5% de significância. Quando houve diferença, os dados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de significância.

Figura 2– Esquema de amostragem dos corpos de prova para análises da densidade básica e relação cerne/alburno.



4.3.1 Procedimentos de obtenção da relação cerne/alburno

Em cada disco, com o uso de uma lupa, foi identificada a região limite entre cerne e alburno, observando-se a alteração na cor e a ocorrência de poros obstruídos por tilos, indicando a região do cerne. Foram traçadas duas retas perpendiculares de uma extremidade a outra do disco, passando pela medula e então, foram medidos o diâmetro total e diâmetro do cerne com a utilização de uma régua graduada, em milímetros (BRITO, 2017). De acordo com o mesmo autor, o cálculo da área ocupada por cerne (CRN), por alburno (ALB), porcentagem de cerne ($\%CRN$) e alburno ($\%ALB$) e relação C/A , área seccional média da seção sem casca (G , em m^2); foi realizado de acordo com as equações descritas na Tabela 8.

Tabela 7– Equações usadas para cálculos de cerne e alburno.

Descrição	Fórmula	Equação
Cerne	$CRN = \frac{\pi \cdot (D - 2A)^2}{40.000}$	(20)
Alburno	$ALB = G - CRN$	(21)
% de alburno	$\%ALB = \frac{ALB}{G} \cdot 100$	(22)

$$\% \text{ de cerne} \qquad \%CRN = 100 - \%ALB \qquad (23)$$

$$\text{Área seccional} \qquad G = \frac{\pi \cdot D^2}{40.000} \qquad (24)$$

$$\text{Relação cerne/alburno} \qquad C / A = \frac{\%CRN}{\%ALB} \qquad (25)$$

Em que: *CRN*: área ocupada por cerne (m²); *D*: diâmetro médio do disco (cm); *A*: espessura do alburno (cm); *ALB*: área ocupada por alburno (m²); %*CRN*: porcentagem de área ocupada por cerne; %*ALB*: porcentagem de área ocupada por alburno; *G*: área seccional média (m²).

4.3.2 Procedimentos de obtenção da densidade básica

Dos discos amostrados, retirou-se uma cunha para a análise da densidade básica, a qual foi obtida com base no método de balança hidrostática, fundamentado na Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003), sendo obtida pela razão entre a massa seca das amostras e o volume saturado em água. A massa seca das amostras foi obtida em estufa com circulação forçada de ar a $103 \pm 2^\circ \text{ C}$ até atingir massa constante.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Forma da árvore

5.1.1. Fator de forma

Os resultados do fator de forma normal calculados para os diferentes espaçamentos e pesos de desbaste estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 8– Fator de forma normal calculado para os diferentes espaçamentos e pesos de desbaste para os clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 61 meses.

Tratamento		f	CV (%)
Espaçamento (m)	Peso de desbaste (%)		
3 x 3	0	0,46	20,37
3 x 2	0	0,47	15,63
2 x 2	0	0,50	14,37
2 x 2	20	0,48	14,33
2 x 2	40	0,46	13,31
2 x 2	60	0,45	14,58

Em que: f: fator de forma normal; CV: coeficiente de variação. Fonte: o autor.

Pode-se notar que o fator de forma variou de acordo com a área útil por planta, em que o menor espaçamento (2 x 2m) resultou em um maior fator de forma (0,50) e a medida em que se aumentou o espaçamento e o peso do desbaste, o fator de forma diminuiu, chegando a 0,46 para o maior espaçamento de plantio e 0,45 para o maior peso de desbaste. Estes resultados mostram que as plantas tendem a ser mais cônicas na medida em que se aumenta a área útil disponível em maiores espaçamentos de plantio e maiores pesos de desbaste (BALDWIN et al., 2000; ANDRADE et al., 2007; NOGUEIRA et al., 2008). Gonçalves et al. (2010), ao estudar os parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, encontrou aos 70 meses, um fator de forma de 0,50 em um espaçamento 3,0 x 3,0 m com desbaste aos 30 meses sob regime de talhadia, de 0,52 em espaçamento 6,0 x 2,5 m com desbaste aos 42 meses e de 0,51 aos 166 meses em espaçamento 3 x 3m, com desbaste aos 117 e 153 meses, estes dois em povoamento reformado.

Carvalho e Nahuz (2001), trabalhando com um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 7 anos de idade e implantado com espaçamento 3,5m x 1,7m encontraram fator de forma inferior aos encontrados neste trabalho (0,44). Já Trugilho et al. (2010), encontraram valores de fator de forma de 0,48 e de 0,51 para clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 5,6 anos de idade, plantados em espaçamento 3 x 2 m.

5.1.2. Modelos de afilamento

As estimativas dos parâmetros para os quatro modelos ajustados são apresentados na Tabela 10, juntamente com as estatísticas de acurácia e as respectivas notas atribuídas para o ranqueamento.

Todas as estimativas dos parâmetros foram significativas ($p < 0,05$) pelo teste t , exceto o $\hat{\beta}_0$ do tratamento 3 para o modelo de Demaerschalk. Isso indica que as variáveis independentes associadas aos parâmetros significativos podem explicar a variabilidade do afilamento. Para todos os tratamentos e para todo o banco de dados (Geral), o modelo que apresentou melhor ajuste foi o de Demaerschalk, seguido pelo modelo de Biging, Kozak e Ormerod, com 21, 55, 60 e 74 pontos, respectivamente.

O modelo de Demaerschalk apresentou resultados satisfatórios, com baixo RQME, variando entre 7,94 (T2) e 10,95% (T1), um R^2_{ajus} entre 0,8484 (T1) e 0,9190 (T2) e ausência de viés ($V < 0,20\%$). O tratamento 1 foi o que teve o pior ajuste para todos os modelos, com R^2_{ajus} variando entre 0,7392 (M1) e 0,8484 (M2), RQME variando de 10,95 (M2) a 14,37 (M1) e viés entre -0,25 (M1) e 1,70 (M4).

Tabela 9– Coeficientes estimados, estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho do ajuste dos modelos de afilamento e notas atribuídas (entre parênteses), na estimação dos diâmetros de árvores de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 61 meses.

Modelo	Tratamento 1 (3 x 3)				R^2_{ajus}	RQME (%)	V (%)	Nota
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$				
M1		0,7282*			0,7392 (4)	14,37 (4)	-0,25 (2)	10
M2	0,4052*	0,5095*	-0,5175*	0,6430*	0,8484 (1)	10,95 (1)	0,21 (1)	3
M3	1,0745*	-2,0041*	-0,5849*		0,7772 (2)	13,27 (2)	1,65 (3)	7
M4		1,0908*	0,2803*		0,7596 (3)	13,80 (3)	1,70 (4)	10
Tratamento 2 (3 x 2)								
M1		0,7166*			0,8638 (4)	10,32 (4)	0,57 (2)	10
M2	0,0901*	0,6643*	-0,4446*	0,6794*	0,9190 (1)	7,935 (1)	0,10 (1)	3
M3	1,0981*	-1,7456*	-0,3996*		0,8671 (3)	10,17 (3)	1,26 (4)	10
M4		1,1449*	0,3101*		0,8683 (2)	10,16 (2)	1,26 (3)	7
Tratamento 3 (2 x 2)								
M1		0,6181*			0,8452 (4)	10,68 (4)	0,73 (3)	11
M2	0,0310 ^{NS}	0,6676*	-0,3294*	0,6109*	0,8727 (1)	9,65 (1)	0,12 (1)	3
M3	1,1726*	-1,9677*	-0,5028*		0,8613 (2)	10,08 (2)	0,74 (4)	8
M4		1,1495*	0,2871*		0,8524 (3)	10,44 (3)	0,71 (2)	8
Tratamento 4 (2 x 2_20%)								
M1		0,6615*			0,8310 (4)	10,74 (4)	0,08 (2)	10
M2	0,4576*	0,7521*	-0,7701*	0,6355*	0,8560 (1)	9,88 (1)	-0,02 (1)	3
M3	1,1325*	-1,8599*	-0,4709*		0,8307 (3)	10,72 (3)	-1,21 (4)	10
M4		1,1421*	0,2932*		0,8387 (2)	10,48 (2)	0,74 (3)	7
Tratamento 5 (2 x 2_40%)								
M1		0,6714*			0,8253 (4)	11,52 (4)	-1,8 (4)	12
M2	0,3499*	0,7656*	-0,6513*	0,5819*	0,8833 (1)	9,39 (1)	0,12 (1)	3
M3	1,0402*	-1,6448*	-0,4588*		0,8613 (2)	10,26 (2)	0,97 (3)	7
M4		1,0828*	0,2626*		0,8523 (3)	10,61 (3)	0,97 (2)	8
Tratamento 6 (2 x 2_60%)								
M1		0,6910*			0,8328 (4)	11,04 (4)	-1,9 (4)	12
M2	0,3447*	0,7710*	-0,6695*	0,5981*	0,8858 (1)	9,09 (1)	0,18 (1)	3
M3	1,0489*	-1,7591*	-0,5135*		0,8762 (2)	9,477 (2)	0,85 (2)	6
M4		1,0831*	0,2661*		0,8619 (3)	10,05 (3)	0,86 (3)	9
Geral								
M1		0,6866*			0,8190 (3)	11,80 (4)	-0,37 (2)	9
M2	0,3004*	0,6747*	-0,5653*	0,6232*	0,8733 (1)	9,88 (1)	0,14 (1)	3
M3	1,0903*	-1,8472*	-0,5042*		0,8384 (2)	11,15 (2)	1,21 (4)	8
M4		1,1114*	0,2820*		0,7435 (4)	11,45 (3)	1,21 (3)	10

Em que: M1: Ormerod; M2: Demaerschalk; M3: Kozak; M4: Biging; $\hat{\beta}_i$: estimativa dos parâmetros; R^2_{ajus} : coeficiente de determinação ajustado; V: Viés; RQME: Raiz do erro quadrático médio; * ; significativo a 5% pelo teste t, ns: não significativo a 5 % pelo teste t.

No presente trabalho, o modelo de Demaerschalk mostrou superioridade no ajuste, em termos de acurácia, tendo um melhor ajuste para todos os tratamentos e para todo o banco de dados. Este modelo é muito flexível em descrever as variações ocorridas na forma do fuste para várias espécies e tamanhos, além de ser muito consistente ao se usar as relações funcionais para estimar outras variáveis (LEITE et al. 2006).

Entretanto, não existe um modelo que seja unânime para modelar o perfil das árvores, conforme pode ser observado em alguns trabalhos nos quais outros modelos obtiveram maior precisão, como é o caso de Nogueira et al, (2008) tiveram melhores resultados com o de Garay trabalhando com *Pinus taeda*; Soares et al. (2011) conseguiram melhores resultados para o modelo de Biging em espécies nativas; Mendonça et al., (2006) com melhores resultados para Ormerod (volume) e Schöpfer (altura); Souza et al., (2016) com o modelo de Garay; Môra et al. (2014) com modelo de Demaerschalk; Teo et al. (2018) com o de Hradetzky todos eles trabalhando com *eucalipto*.

As estatísticas de acurácia subsidiam apenas como um indicador de qualidade do ajuste e, isoladamente, não garantem a eficácia do modelo, por tratarem apenas das variações das estimativas totais (SOUZA et al., 2016). Para complementar esta tem-se as análises gráficas entre os diâmetros observados e estimados pelos modelos, distribuição dos erros percentuais e histograma dos erros percentuais por tratamento (Figuras 3 a 9).

Figura 3 – Diâmetros estimados versus diâmetros observados, distribuição dos erros percentuais das estimativas do diâmetro e histograma de erros das estimativas de diâmetro, obtidas por análise de regressão, para o tratamento 1.

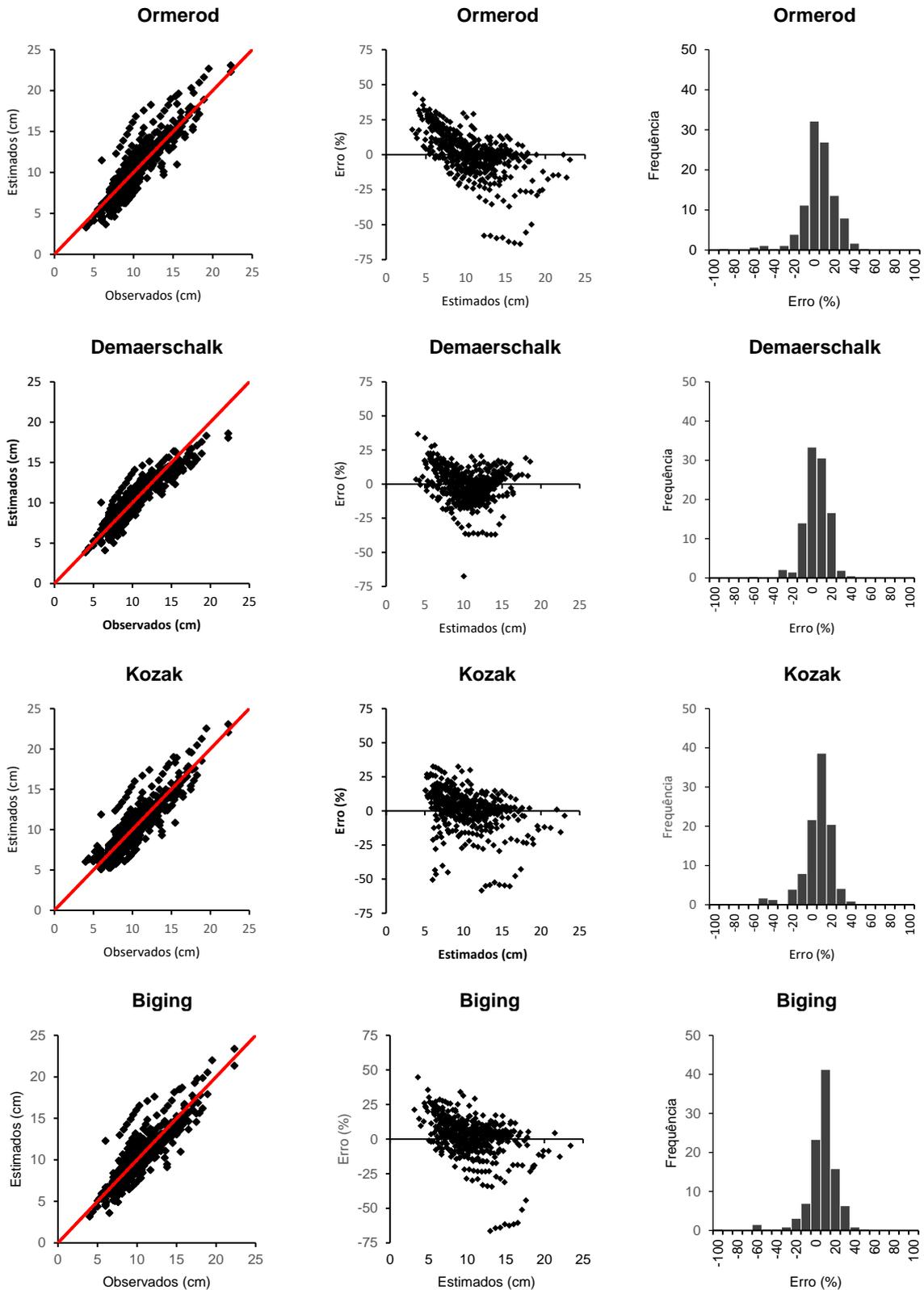


Figura 4 – Diâmetros estimados versus diâmetros observados, distribuição dos erros percentuais das estimativas do diâmetro e histograma de erros das estimativas de diâmetro, obtidas por análise de regressão, para o tratamento 2.

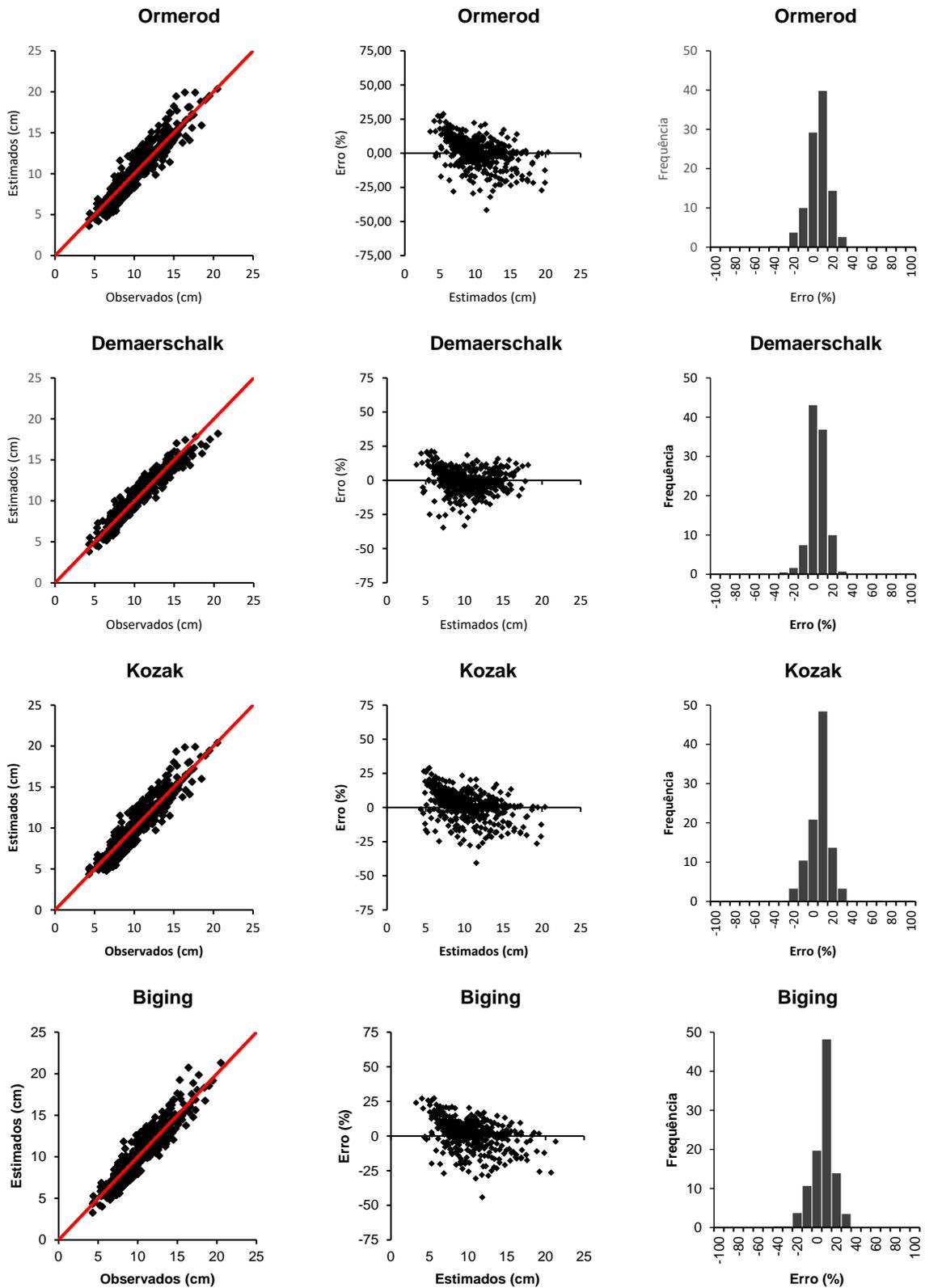


Figura 5 – Diâmetros estimados versus diâmetros observados, distribuição dos erros percentuais das estimativas do diâmetro e histograma de erros das estimativas de diâmetro, obtidas por análise de regressão, para o tratamento 3

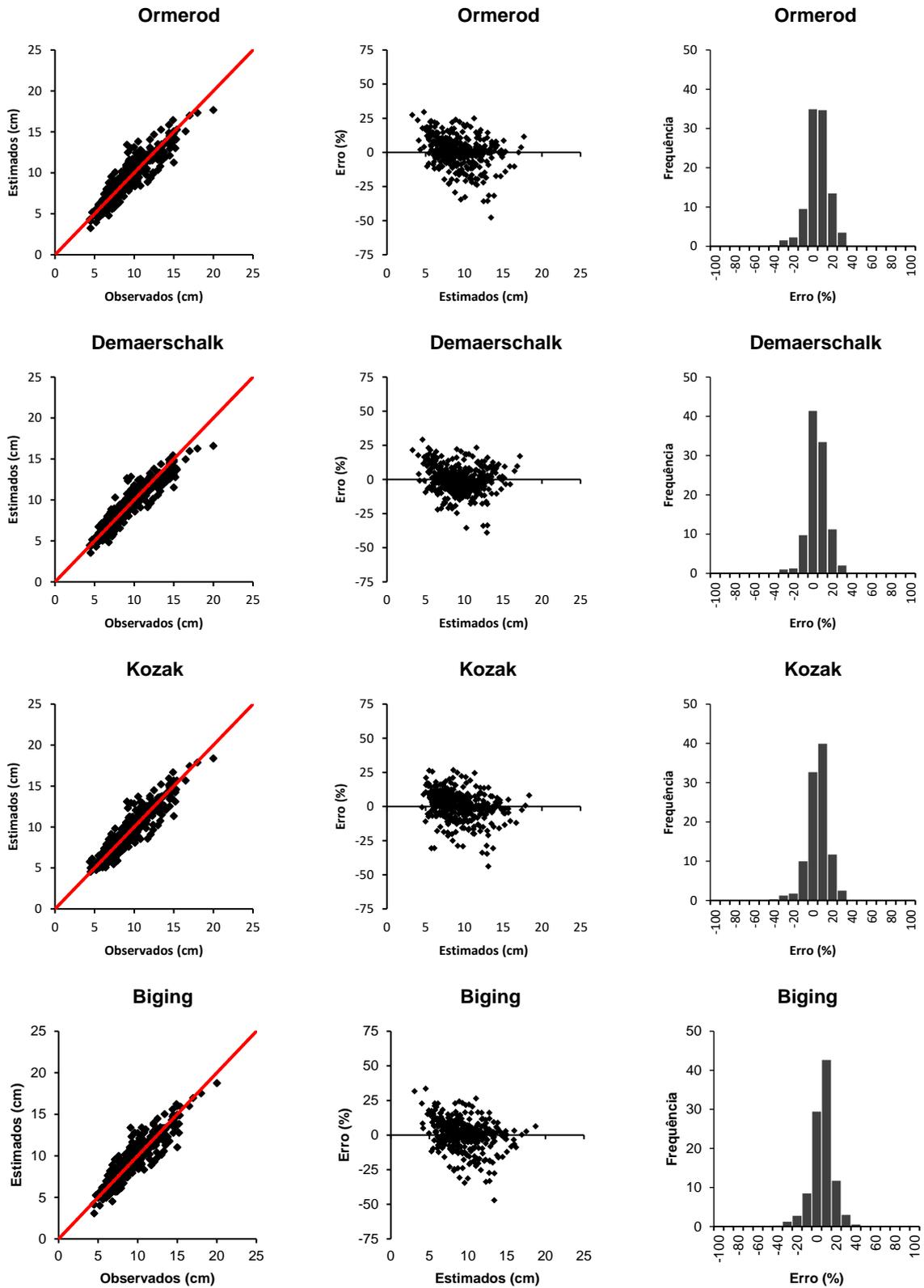


Figura 6 – Diâmetros estimados versus diâmetros observados, distribuição dos erros percentuais das estimativas do diâmetro e histograma de erros das estimativas de diâmetro, obtidas por análise de regressão, para o tratamento 4.

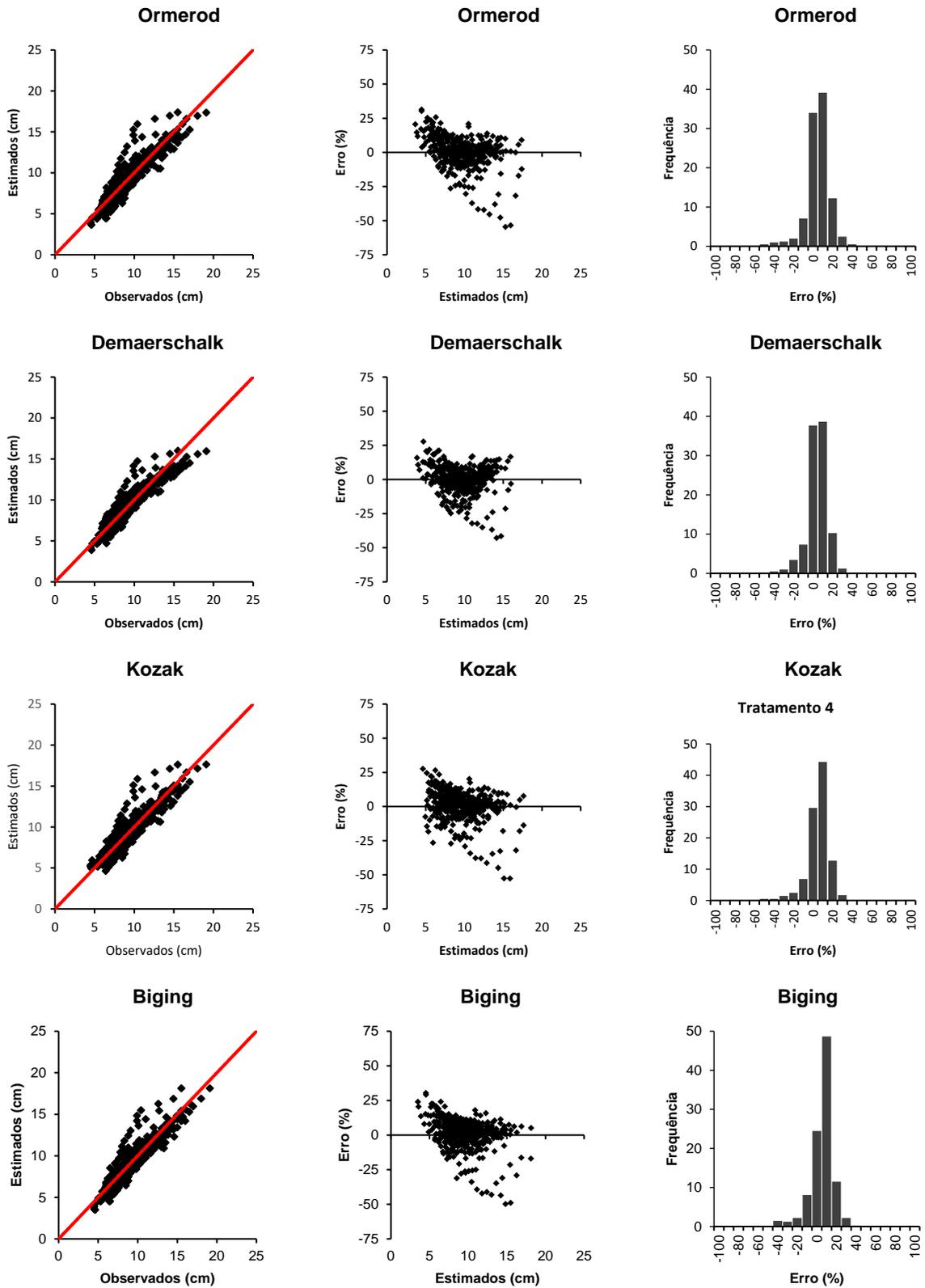


Figura 7 – Diâmetros estimados versus diâmetros observados, distribuição dos erros percentuais das estimativas do diâmetro e histograma de erros das estimativas de diâmetro, obtidas por análise de regressão, para o tratamento 5.

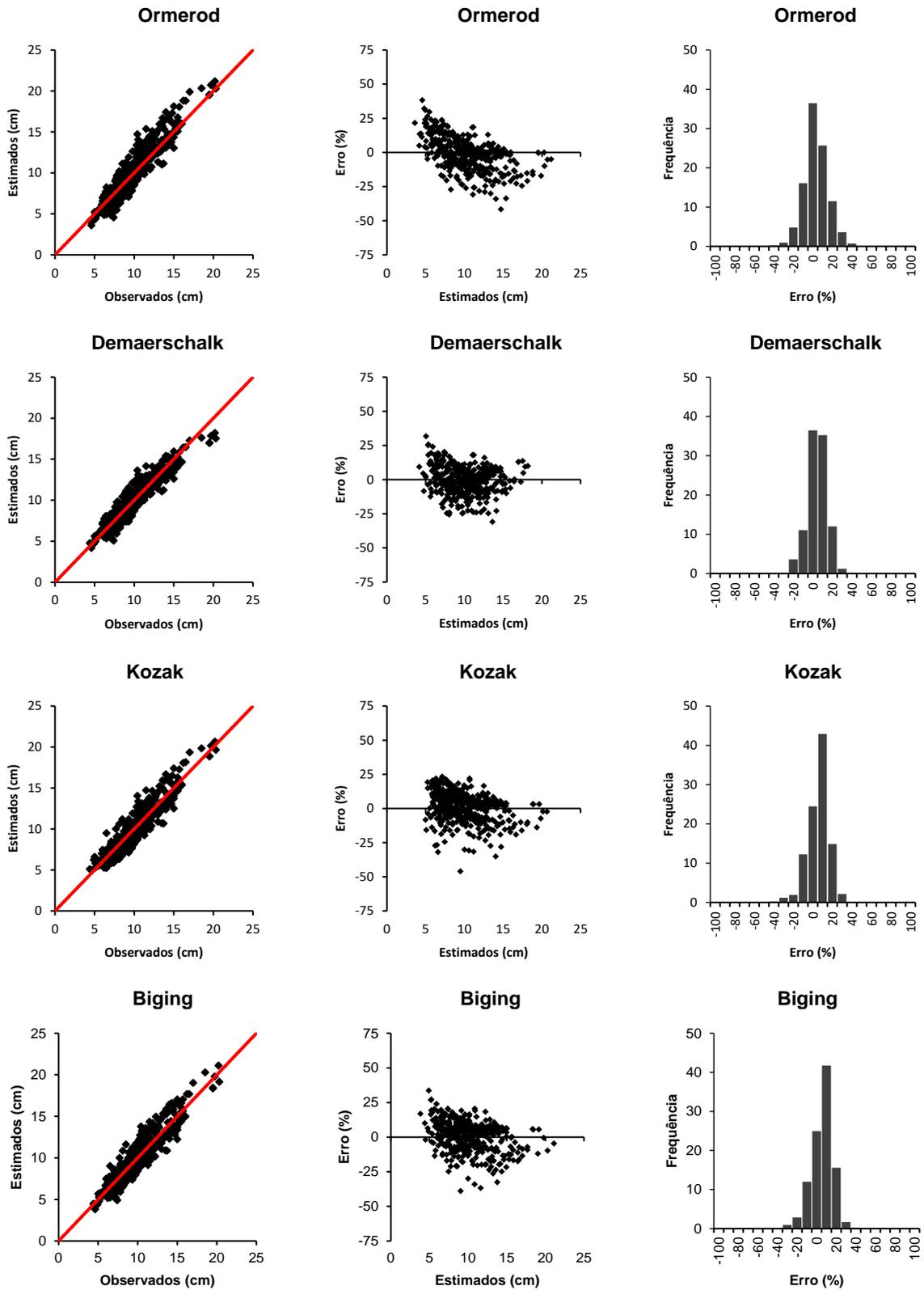


Figura 8 – Diâmetros estimados versus diâmetros observados, distribuição dos erros percentuais das estimativas do diâmetro e histograma de erros das estimativas de diâmetro, obtidas por análise de regressão, para o tratamento 6.

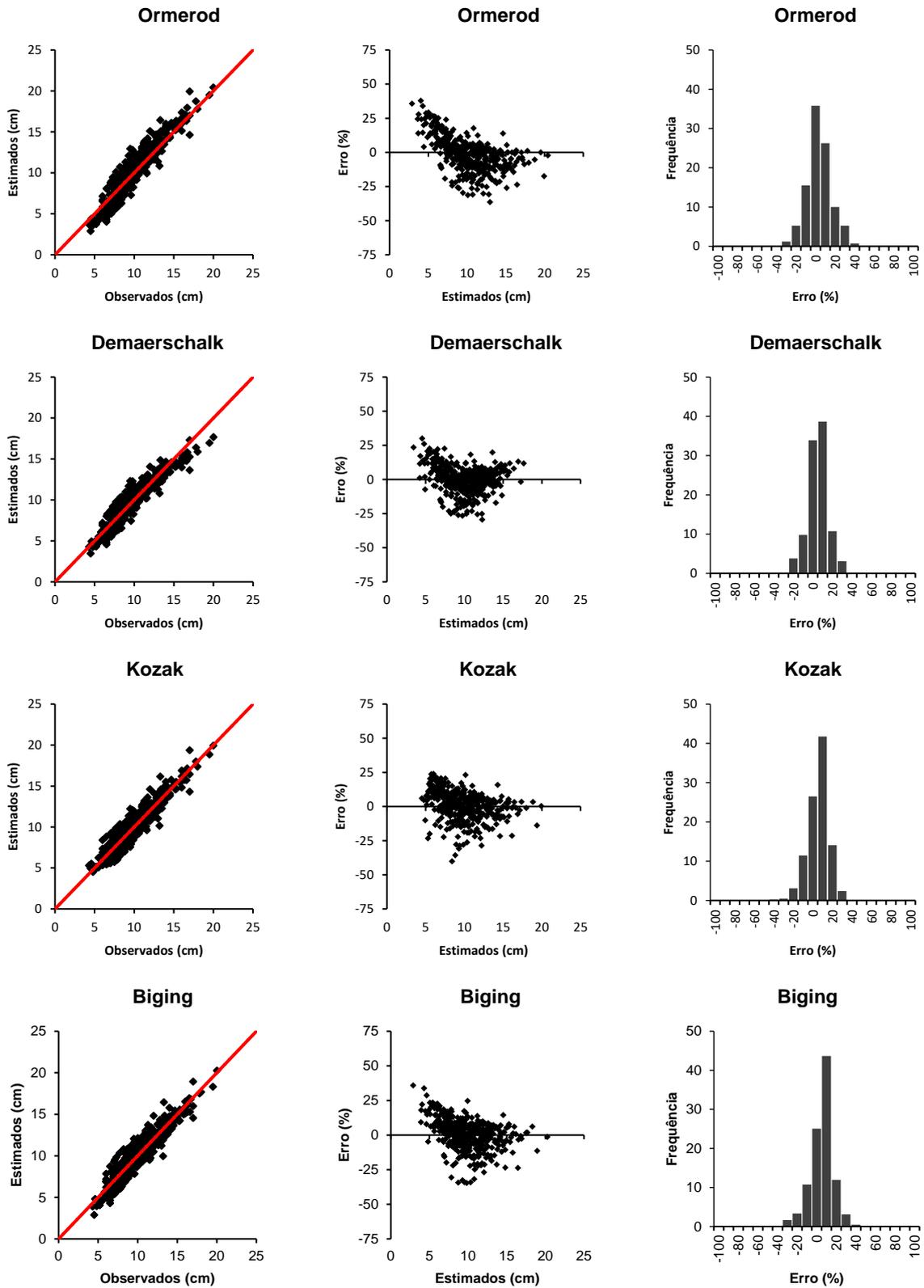
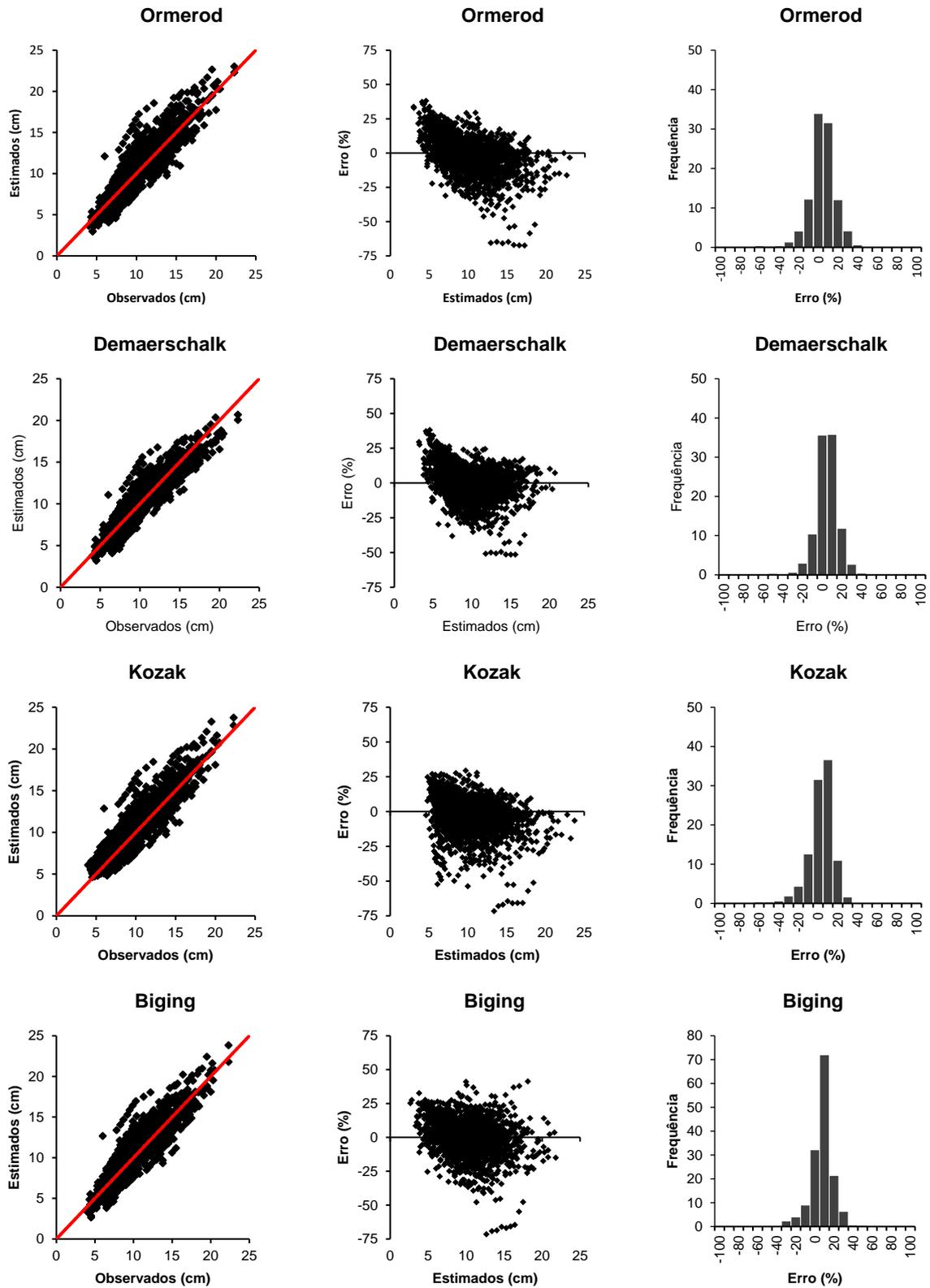


Figura 9 – Diâmetros estimados versus diâmetros observados, distribuição dos erros percentuais das estimativas do diâmetro e histograma de erros das estimativas de diâmetro, obtidas por análise de regressão, para todo o banco de dados.

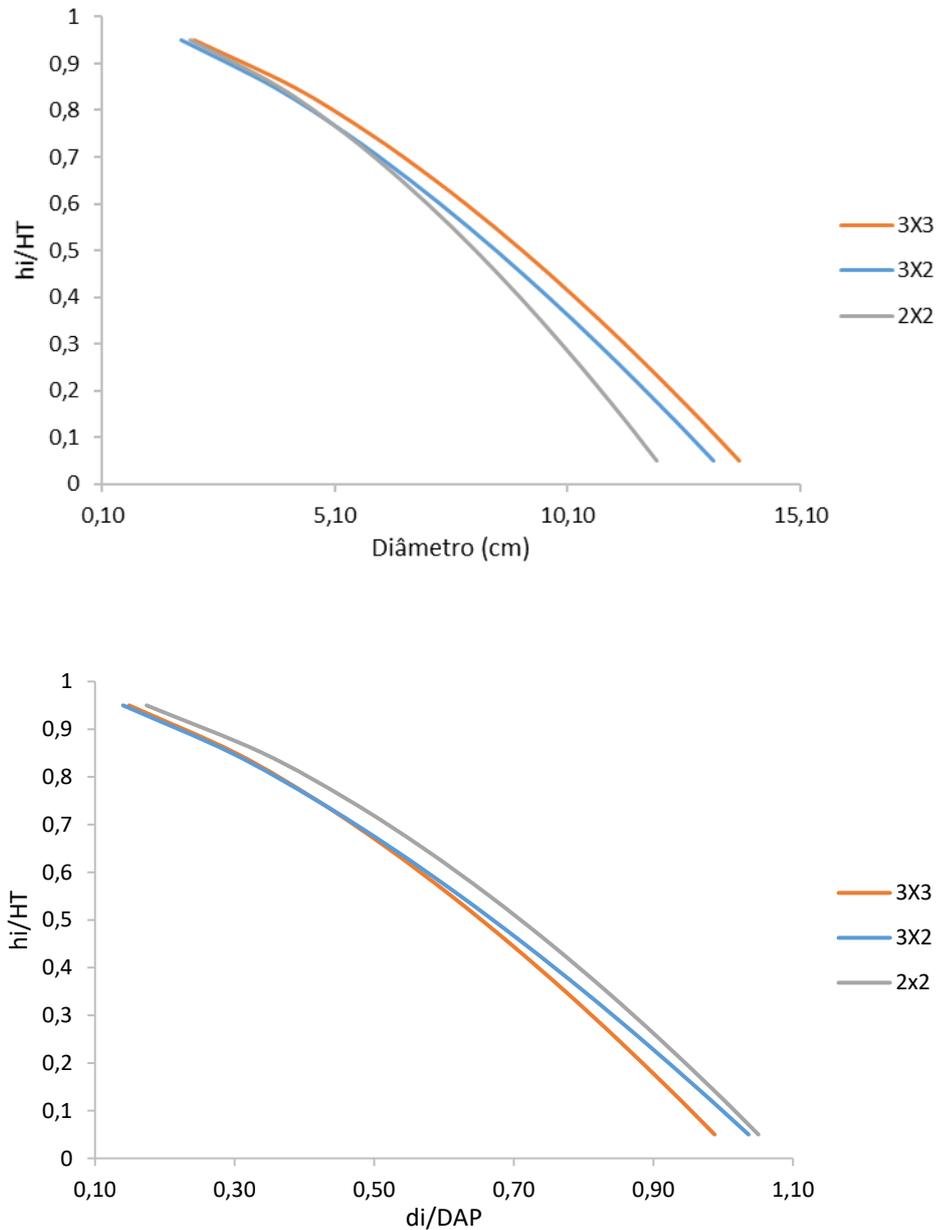


De forma geral, os modelos apresentaram uma distribuição residual de forma similar. Para os tratamentos 1, 3, 4, 5 e 6, os modelos 1, 2 e 4 tenderam em subestimar os menores diâmetros e de superestimar os diâmetros nas classes de 10 a 20 cm sendo que no modelo 3, estende-se à classe de 5 cm de diâmetro esta tendência. No entanto, o M2 apresentou uma distribuição residual melhor que os demais modelos. Vale destacar o pior ajuste do tratamento 1, com os erros variando entre $\pm 50\%$, sendo possível observar a presença de possíveis *outliers*.

Ao analisar o histograma de erros, pode-se notar que os resíduos apresentaram distribuição normal, com uma leve assimetria à esquerda e que aproximadamente 95% dos erros concentram-se entre $\pm 20\%$. Para os tratamentos 2, 3, 4, 5 e 6, o modelo 2 apresentou mais de 80% da frequência de erros situado em $\pm 10\%$. Com base na análise gráfica e nas estatísticas, foi escolhido o modelo de Demaerschalk para representação dos perfis dos fustes.

A Figura 10 representa o perfil médio estimado pelo modelo de Demaerschalk para cada espaçamento de plantio e para os pesos dos desbastes.

Figura 3 – Perfil médio do tronco estimado pelo modelo de Demaerschalk para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses.



Na Figura 10, pode-se observar a variação da forma do fuste em relação aos espaçamentos. As curvas construídas mostram o perfil médio da árvore, em que uma maior inclinação da curva resulta em uma forma mais cilíndrica para as árvores. Nota-se que a forma se altera com o aumento do espaçamento de plantio, em que os maiores espaçamentos resultaram em uma menor inclinação da curva, logo, uma

maior conicidade. O espaçamento 2 x 2m apresentou uma maior inclinação da curva, seguido pelo espaçamento 3 x 2 e 3 x 3m, respectivamente.

Nas Tabelas 11 e 12 são apresentadas as diferenças nos diâmetros na base e no topo das árvores entre os espaçamentos de plantio.

Tabela 10 – Diferença no diâmetro das árvores estimado pelo modelo de Demaerschalk para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses.

Posição	Diferença entre espaçamentos (%)		
	T1xT2	T1xT3	T2xT3
Base	4,10	12,92	9,20
Topo	13,86	4,29	-11,11

Em que: T1: espaçamento 3 x 3m, T2: espaçamento 3 x 2m, T3: espaçamento 2 x 2m.

De maneira geral, os resultados da Tabela 10, indicam que ao se aumentar a área útil por planta, estas tendem a ter um crescimento maior na base em relação ao topo, resultando em árvores mais cônicas.

Espera-se que maiores densidades iniciais de plantio apresentem melhor forma do fuste, isto é, forma mais cilíndrica, se comparado com menores densidades de plantio (CAMPOS; LEITE, 2017; ANDRADE et al., 2007; NOGUEIRA et al., 2008). Devido a uma maior competição, árvores conduzidas em menores espaçamentos possuem comprimento de copa menor e, conseqüentemente, apresentam formas mais cilíndricas quando comparado as árvores conduzidas em maiores espaçamentos (FERREIRA et al., 2014). O mesmo fato foi observado por Nogueira et al. (2008) que ao avaliar o efeito do espaçamento inicial em plantio de *Pinus taeda*, concluiu que árvores conduzidas em maiores espaçamentos tendem a uma forma mais cônica.

Resultados similares foram encontrados por Rance et al. (2012), ao avaliarem plantios de *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos, no sudoeste da Austrália, verificou que os menores espaçamentos resultaram em árvores menos cônicas já em idades iniciais.

O resultado do teste de Graybill (1976) para os três espaçamentos de plantio está apresentado na Tabela 12. Primeiramente foi realizado o teste com o agrupamento dos três espaçamentos para verificar sua igualdade e rejeitou-se H_0 , o que mostra haver diferença entre as curvas de perfil médio, logo, um único modelo não pode ser usado para representar todos os espaçamentos. Após isso, foi realizado o teste em pares de tratamento, para verificar quais perfis diferem entre si.

Tabela 11 – Resultado do teste proposto por Graybill (1976) para as estimativas de diâmetro ao longo do fuste para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses.

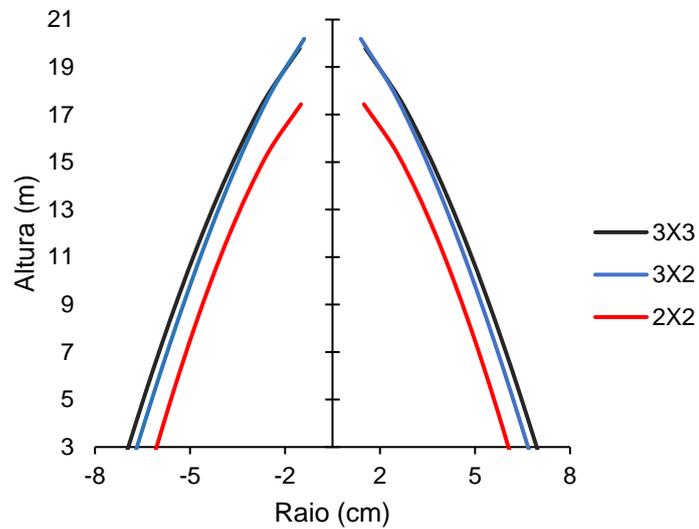
Hipótese	Agrupamento	F _c	p_valor	Conclusão
a	T1, T2 e T3	10,63	1,45x10 ⁻¹⁴	D
b	T1 e T2	11,91	1,95x10 ⁻⁹	D
c	T1 e T3	11,39	5,06x10 ⁻⁹	D
d	T2 e T3	8,41	1,18x10 ⁻⁶	D

Em que: T1: espaçamento 3 x 3m sem desbaste; T2: espaçamento 3 x 2m sem desbaste; T3: espaçamento 2 x 2m sem desbaste; F_c: estatística do teste F de Graybill; D: Diferentes. Fonte: o autor.

Nas combinações avaliadas entre os pares de tratamentos, a hipótese de nulidade foi rejeitada e o teste confirma a influência dos espaçamentos na forma do fuste das árvores, ou seja, existe diferença significativa entre as curvas para todos os espaçamentos e uma única equação não deve ser usada para descrever os perfis (CERQUEIRA et al., 2017).

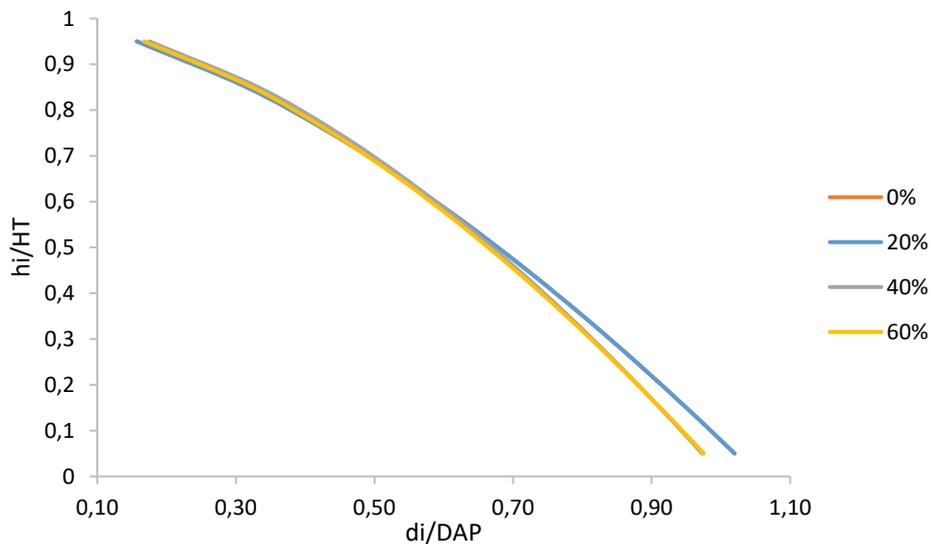
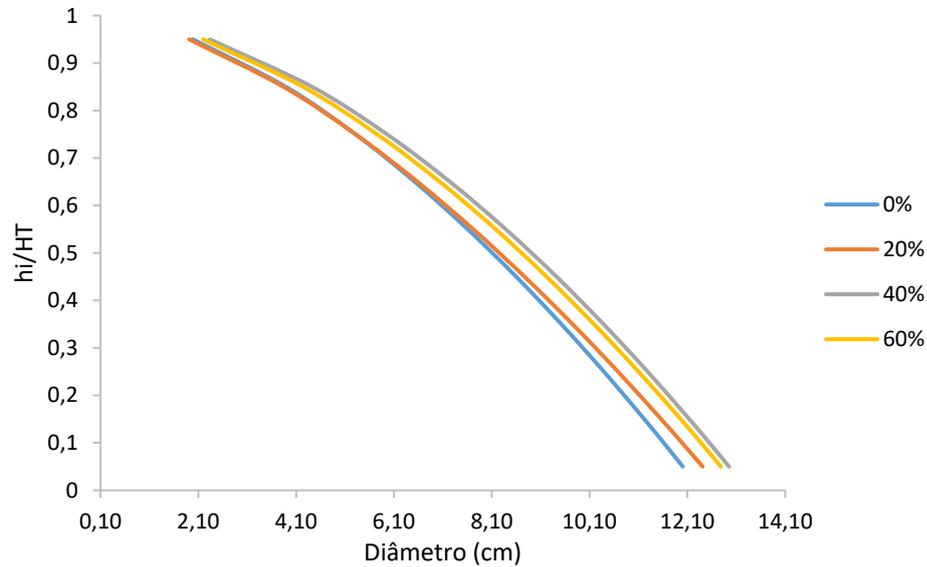
Existe uma correlação positiva entre o diâmetro da copa e o diâmetro do fuste das árvores (ORELLANA; KOEHLER, 2008). Menores espaçamentos acarretam em maior competição por luz, produzindo copas mais estreitas e pouco profundas, resultando em árvores com menor diâmetro do fuste (HENSKENS et al., 2001) e devido a redução da copa, os fustes apresentam forma menos cônica (FRIEDL, 1989). Na Figura 11 está representado a forma da árvore para os espaçamentos de plantio analisados.

Figura 4 – Perfil médio do tronco estimado pelo modelo de Demaerschalk para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses.



Na Figura 12, pode-se observar a influência dos pesos de desbaste na forma do fuste de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Figura 5 – Perfil médio do tronco estimado pelo modelo de Demaerschalk para povoamentos clonais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses, plantados no espaçamento 2x2m submetidos a diferentes pesos de desbaste.



De forma geral, os maiores pesos de desbaste resultaram numa curva menos íngreme do perfil das árvores, ou seja, uma maior conicidade. Com o aumento do peso dos desbastes, aumenta-se a área útil para as plantas, e consequentemente, a conicidade também aumenta até certo ponto, assim como nos maiores espaçamentos de plantio (Figura 10). O espaçamento 2 x 2m sem desbaste foi o que apresentou uma maior inclinação da curva, divergindo significativamente na base (menor diâmetro) em

relação aos demais, convergindo para o mesmo diâmetro no topo para do espaçamento 2 x 2 com 20% de desbaste.

As árvores conduzidas em povoamentos com menores pesos de desbaste (mais adensados) possuem comprimento de copa menor devido ao sombreamento causado pela maior competição, em consequência disso, apresentam formas mais cilíndricas, se comparadas com as conduzidas em espaçamentos maiores (FERREIRA et al., 2014).

Tabela 12 –. Diferença no diâmetro estimado da base e do topo das árvores pelo modelo de Demaerschalk para os diferentes pesos de desbaste do clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses.

Posição	Diferença entre pesos de desbaste (%)					
	T3xT4	T3xT5	T3xT6	T4xT5	T4xT6	T5xT6
Base	-3,37	-7,87	-6,49	-4,35	-3,02	1,28
Topo	3,86	-17,46	-10,57	-22,18	-15,01	5,87

Em que: T3: espaçamento 2 x 2m sem desbaste; T4: espaçamento 2 x 2m com 20% de desbaste; T5: espaçamento 2 x 2m com 40% de desbaste; T6: espaçamento 2 x 2m com 60% de desbaste. Fonte: O autor.

O tratamento que não houve desbaste (T3) foi o que teve menor crescimento na base, resultando em uma curva mais íngreme, isto é, forma mais cilíndrica. A maior diferença de crescimento foi entre o não desbastado e o peso de desbaste 40% (7,87%). Para o topo das árvores, a maior diferença foi entre os desbastes de 20 e 40% da área basal.

O resultado do teste de Graybill (1976) para os quatro pesos de desbaste está apresentado na Tabela 14. Ao se testar o agrupamento de todos os pesos de desbaste rejeitou-se H_0 , o que mostra haver diferença entre as curvas de perfil médio para pelo menos um peso de desbaste, logo, uma única equação não pode ser usada para representar todos os pesos de desbaste. Então foi realizado o teste em trios e depois pares de tratamento, para verificar quais perfis diferem entre si.

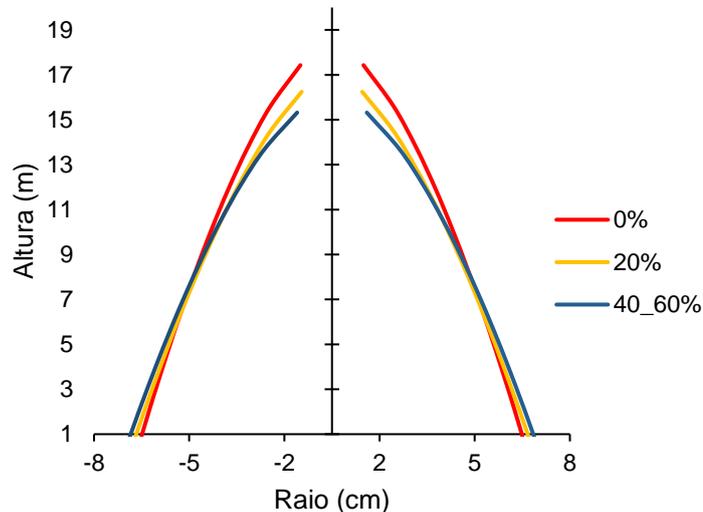
Tabela 13– Resultado do teste de Graybill (1976) para as estimativas de diâmetro ao longo do fuste para os diferentes espaçamentos de plantio do clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses.

Hipótese	Agrupamento	F _c	p_valor	Conclusão
e	T3, T4, T5 e T6	5,02	2,92x10 ⁻⁰⁸	D
f	T3, T4 e T5	5,76	3,13x10 ⁻⁰⁷	D
g	T3, T4 e T6	6,99	4,69x10 ⁻⁰⁹	D
h	T3, T5 e T6	5,46	8,74x10 ⁻⁰⁷	D
i	T4, T5 e T6	2,38	2,27x10 ⁻⁰²	D
j	T3 e T4	9,63	1,32x10 ⁻⁰⁷	D
k	T3 e T5	5,28	3,36x10 ⁻⁰⁴	D
l	T3 e T6	9,64	1,27x10 ⁻⁰⁷	D
m	T4 e T5	2,69	2,97x10 ⁻⁰²	D
n	T4 e T6	3,26	1,15 x10 ⁻⁰²	D
o	T5 e T6	0,76	0,5543	I

Em que: T3: espaçamento 2 x 2m sem desbaste; T4: espaçamento 2 x 2m com 20% de desbaste; T5: espaçamento 2 x 2m com 40% de desbaste; T6: espaçamento 2 x 2m com 60% de desbaste; F_c: estatística do teste F de Graybill; D: Diferente; I: Iguais. Fonte: o autor.

De acordo com o teste de identidade, não foi rejeitada a hipótese de nulidade (H₀) para o agrupamento 56 (pesos de desbaste de 40 e 60%). Isto mostra que as equações são estatisticamente iguais, logo, a curva que representa o perfil médio das árvores é igual, não havendo diferença entre os pesos de desbaste na forma da árvore para estas combinações. A nova equação (modelo reduzido) que foi ajustada para prever o perfil das árvores nos tratamentos desbastados a 40 e 60% ficou assim representada: $d = dap(10^{0,353669} DAP^{0,774135} H^{-0,67045} (H - h)^{0,589467})$ e teve um R²_{ajus} de 0,8935, RQME de 9,20 % e viés de 0,16% e o novo gráfico do perfil das árvores está plotado na Figura 13.

Figura 6 – Perfil médio do tronco estimado pelo modelo reduzido de Demaerschalk para o espaçamento 2x2m com e sem desbaste do clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses



As plantas têm uma capacidade limitada para aproveitar os recursos disponíveis, isso quer dizer que nem sempre maiores pesos de desbaste vão resultar em maior crescimento das árvores remanescentes.

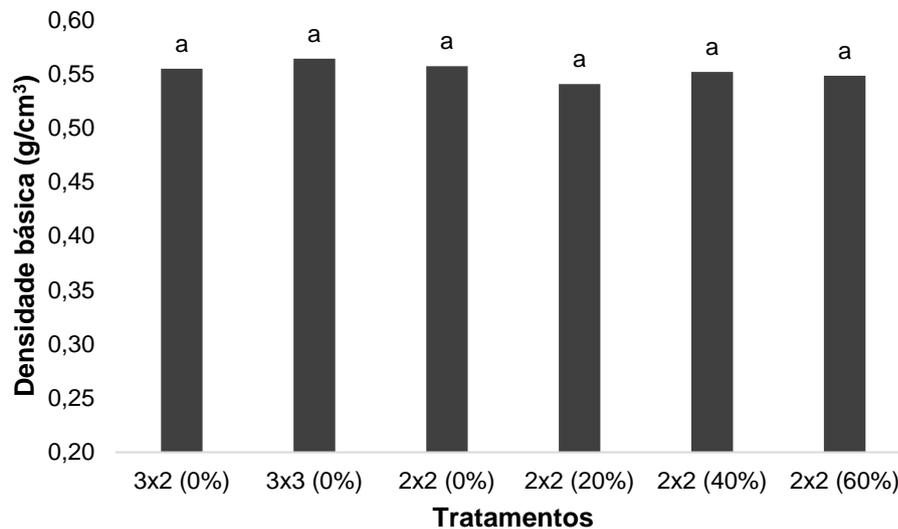
5.2 Caracterização da madeira dos tratamentos analisados

5.2.1 Densidade básica da madeira

Aos 40 meses, a densidade básica encontrada no momento do desbaste foi de $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$. A madeira do desbaste possui densidade básica satisfatória que possibilita seu uso para diversos seguimentos, como produção de carvão, celulose e papel, postes de cerca, mourões e escora em construção civil, por exemplo. Castro et al. (2011), citam que o manejo de florestas de eucalipto com desbaste é uma alternativa economicamente viável, uma vez que a madeira do desbaste pode ser utilizada para antecipar receita antes do corte final da floresta.

Os valores médios da densidade básica da madeira nos diferentes espaçamentos e níveis de desbaste, aos 61 meses, são apresentados na Figura 14.

Figura 7 – Densidade básica da madeira por espaçamento de plantio e peso de desbaste do clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ($p>0,05$) pelo teste F.



Não houve diferença significativa ($p>0,05$) da densidade básica aos 61 meses pelo teste F entre os espaçamentos de plantio ou pesos de desbaste. A densidade básica encontrada foi de $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$, valor e igual ao encontrado no momento do desbaste (T4, T5 e T6). Boa parte das espécies de eucalipto possui densidade básica variando entre $0,50$ e $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$ (SEVERO, 2000).

Esperava-se que nos maiores espaçamentos houvesse maior densidade básica, uma vez que ao se aumentar a área útil da planta, até certo ponto, estas têm uma maior disponibilidade de recursos, o que resulta em um crescimento maior da copa e uma produção maior de fotoassimilados, os quais irão regular a espessura da parede celular (ROCHA, 2011). No entanto, provavelmente até esta idade, a diferença nos espaçamentos não promoveu o efeito esperado.

Resultados semelhantes foram encontrados por Moulin et al., (2017), estudando a influência do espaçamento de plantio e irrigação na densidade e na massa seca em espécies de *Eucalyptus*. Estes autores constataram que não houve diferença na densidade básica entre os espaçamentos para o clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* aos sete anos, com valores entre $0,53$ e $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$. De igual modo, Oliveira et al., (2012), avaliando diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 117 meses, encontrou valores entre $0,58$ a $0,59 \text{ g.cm}^{-3}$, porém não houve

diferença significativa entre os níveis de desbaste para a densidade básica. Oliveira et al., (2010), que analisaram um clone de *Eucalyptus pellita* aos 5 anos de idade e encontraram valor médio de 0,56 g/cm³.

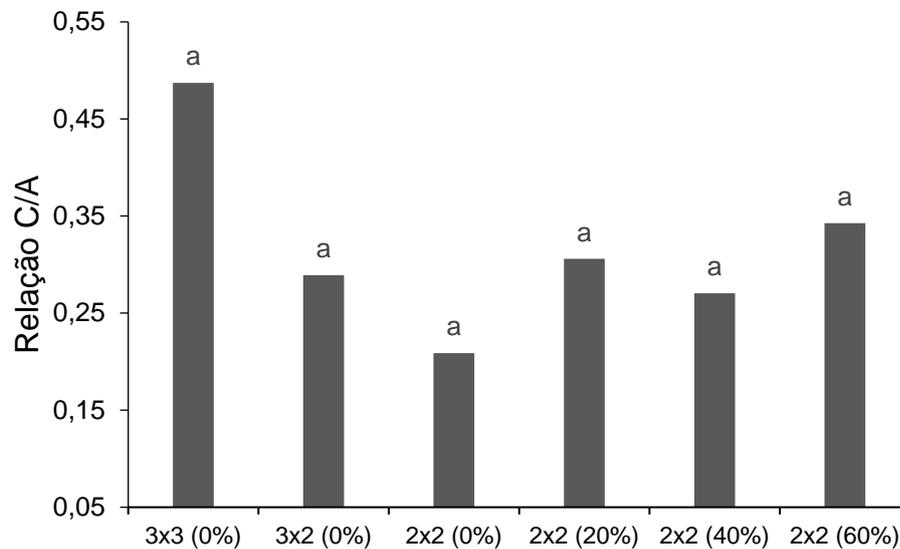
Neves et al. (2011), encontraram valores de densidade básica variando de 0,42 a 0,51 g.cm⁻³, para eucaliptos aos 68 meses, em espaçamento de 3,5 x 2,5m. Gonçalves et al. (2010), avaliando a densidade básica de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, encontrou, aos 70 meses, densidades de 0,47 g.cm⁻³ em um espaçamento 3,0 x 3,0 m com desbaste aos 30 meses sob regime de talhadia, de 0,51 g.cm⁻³, em espaçamento 6,0 x 2,5 m com desbaste aos 42 meses e de 0,55 g.cm⁻³ aos 166 meses em espaçamento 3 x 3m, com desbaste aos 117 e 153 meses, estes dois em povoamento reformado. Lima e Garcia (2005), trabalhando com *E. grandis* de 18 anos, constataram que houve uma diferença entre a densidade básica nas intensidades de 67 e 75% de desbaste, porém, não houve diferença entre as demais propriedades avaliadas (densidade aparente, retração volumétrica e resistência à compressão paralela às fibras).

As fábricas de celulose e papel trabalham com madeiras de densidade básica entre 0,4 g.cm⁻³ e 0,6 g.cm⁻³ (FOELKEL, 2015). Os clones avaliados no presente estudo estão dentro deste intervalo, deste modo, poderiam ser usados com esta finalidade, considerando-se apenas a densidade básica. Trugilho et al. (2001), trabalhando com clones de eucalipto aos sete anos em espaçamento 3 x 2 m, observaram que os clones com densidade básica entre 0,52 e 0,59 g.cm⁻³ produziram carvão de boa qualidade. Já Rocha et al. (2017), estudando as propriedades energéticas do carvão vegetal em função do espaçamento de plantio (3 x 0,5 m; 3 x 1 m; 3 x 1,5 m; 3 x 2 m e 3 x 3 m) verificaram que este não influenciou de forma considerável a qualidade do carvão vegetal produzido a partir da madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*.

5.2.2 Relação cerne/alburno

Os valores médios da relação cerne/alburno nos diferentes espaçamentos e pesos de desbaste estão apresentados na Figura 15.

Figura 8 – Relação cerne/alburno por espaçamento de plantio e peso de desbaste do clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 61 meses. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ($p>0,05$) pelo teste F.



As médias da relação C/A não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) entre os tratamentos analisados, pelo teste F, para espaçamentos e níveis de desbastes. Estes resultados podem ser devido ao povoamento ser muito novo. A relação C/A média foi de 0,32, o que indica um maior teor de alburno em todos os espaçamentos e níveis de desbaste. Isso também pode ser justificado pela idade do plantio, em que um material jovem tem um maior teor de alburno. Pereira et al., (2013), encontraram valores de 0,49 para relação c/a em clones de *Eucalyptus camaldulensis* aos 7,5 anos de idade.

Maior relação C/A indica que há uma maior proporção de cerne. Para algumas finalidades, como o uso de madeira tratada ou produção de celulose, por exemplo, dar-se preferência a maiores proporções de alburno. Isso ocorre, uma vez que, em relação ao alburno, o cerne é menos permeável, possuindo maiores dificuldades na secagem e na absorção de produtos preservativos (BURGER & RICHTER, 1991), assim como aumenta o consumo de álcali e reduz o rendimento em celulose, já que a quantidade de extrativos também é maior (MIRANDA et al., 2009).

Para a produção de carvão, deve-se dar preferência aos clones com maior proporção de alburno, pois este afeta diretamente a etapa inicial de carbonização, que é a secagem, o que se pode usar árvores com menor idade, as quais não possuem áreas significativas ocupadas por cerne (PEREIRA et al., 2013).

6 CONCLUSÕES

Os espaçamentos de plantio e os pesos de desbastes influenciaram a forma do fuste, onde as maiores áreas úteis proporcionaram um menor fator de forma.

Para representar o perfil do fuste para os diferentes espaçamentos, deve-se utilizar diferentes equações de afilamento. Já para os pesos de desbaste, devem ser utilizadas equações de afilamento diferentes para o espaçamento 2x2 sem desbaste (0%), 20% e outra para representar os pesos de 40% e 60%, conjuntamente.

A densidade básica e a relação cerne/alburno não sofreram influência dos espaçamentos e pesos de desbaste, aos 61 meses de idade.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, I. B. et al. Efeitos de intensidade de desbaste sobre o crescimento em altura e diâmetro de *Eucalyptus citriodora* Hook. **IPEF**, v.48, n.49, p. 1-7, 1995.
- ALVES, M. A. A. **Técnica de produção florestal: fundamentos, tipificação e métodos**. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica, 1982. 331 p.
- ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla***. 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- ANDRADE, C.M. Et al. Variação do incremento anual ao longo do fuste de *pinus taeda* L. em diferentes idades e densidades populacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 239-246, jul-set, 2007.
- ARANGO, B.; HOYOS, J. F.; VÁSQUEZ, A.M, Variación de la densidad básica de la madera de *Eucalyptus grandis* en árboles de siete años de edad. **Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v.54, n. 1-2, p.1275-1284, 2001.
- ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009. 137 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941 - 02: Madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003.
- BALDWIN JR, V. C. et al. The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 3-g-year-old Loblolly Pine. **Forest Ecology and Management**, v. 137, n. 1-3, p. 91-102, 2000.
- BALLONI, E. A. Influência do espaçamento de plantio na produtividade florestal. **Silvicultura**, v. 8, n. 31, p. 588-592, 1983.
- BALLONI, E. A., SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF – Série Técnica**, v. 1, n. 3, p. 1-26, 1980.
- BAMBER, R. K. **Sapwood and heartwood**. Sydney: Forestry Commission of New South Wales, Wood Technology and Forest Research Division, 1987. 8 p.
- BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1-3, p.1-13, 1998.
- BIGING, G. S. Taper equations for second mixed-conifers of Northean California. **Forest Science**, v. 30, n. 4, p. 1103-1117, 1984.
- BRITO, A. S. **Efeito do espaçamento de plantio nas propriedades da madeira em árvores jovens de eucalipto**. 2017.44 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 157 p.

CALDEIRA S. F.; OLIVEIRA D. L. C. Desbaste seletivo em povoamentos de *Tectona grandis* com diferentes idades. **Acta Amazonica**, v. 38, n.2, p. 223 -228, 2008.

CAMPOS, J. C. C.; CAMPOS, A. L. A. S.; LEITE, H. G. Decisão silvicultural empregando um sistema de predição do crescimento e da produção. **Árvore**, v. 12, n.2, p. 100-110, 1988.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 5. ed., Viçosa: Editora UFV, 2017. 636 p.

CARNEIRO, R. S. **Influência de defeitos de crescimento e das dimensões de traqueídeos nas propriedades de densidade e flexão estática da madeira de *Pinus caribea***. 2006. 171 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

CARVALHO, A. M., NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 61-76, jun. 2001.

CASTRO, R. V. O. et al. Avaliação econômica de um povoamento de eucalipto desbastado e destinado a multiprodutos da madeira. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 351-357, 2011.

CERQUEIRA, C. L., MÔRA, R. TONINI, H. Forma do fuste de eucalipto em diferentes arranjos de plantio e espaçamentos. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.4, n.3, p.137-141, 2017.

CHAUHAN, S. S.; AGGARWAL, P. Segregation of *Eucalyptus tereticornis* Sm. clones for properties relevant to solid wood products. **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 3, p. 511–521, 7 abr. 2011.

CHERELLI, S. G. **Cerne e alburno em eucaliptos: influência da espécie e da idade nas propriedades tecnológicas**. 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest Science**, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963.

CLUTTER, J. L. et al. **Timber Management**: a Quantitative Approach. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333 p.

CONTRERAS-MARQUEZ, C. E. **Estudo silvicultural e econômico de povoamentos de eucalipto na região de cerrado de Minas Gerais**. 1997. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

COUTO, L. et al. **Espaçamento de plantio de espécie de rápido crescimento para dendroenergia**. Belo Horizonte MG: CEMIG, 2002. 66 p.

DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, v.18, n.3, p.241-245, 1972.

DEMAERSCHALK, J. P.; KOZAK, A. The whole-bole system: a conditional dual-equation system for precise prediction of tree profiles. **Canadian Journal of Forest Research**, v.7, n.3, p.488-497, 1977.

DIAS, A. C. C. et al. Qualidade da madeira para produção de lâminas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 333 - 341, 2017.

DIAS, A. N. et al. Avaliação financeira de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Árvore**, v.29, n.3, p.419-429, 2005.

FERREIRA, G. W. D. et al.; Influência do desbaste na forma do fuste de povoamentos naturais de *Eremanthus incanus* (Less.) Less Semina: **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1707-1720, 2014.

FERREIRA, S. O. **Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***. 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 79-87, 1999.

FISCHER, F. et al. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 167-188, 2001.

FOELKEL, C. E. B. Eucalyptus Online Book. In: **Qualidade da Madeira do Eucalipto, Reflexões acerca da utilização da Densidade Básica como indicador de Qualidade da Madeira no Setor de Base Florestal**. 2015. p. 2-199. Disponível em: < http://eucalyptus.com.br/eucalipos/PT41_Densidade_Basica_Madeira.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2017.

FRANCO, E.J. et al. Eficiência dos métodos para estimativa volumétrica de *Eucalyptus camaldulensis*. **Cerne**, v.3, n.1, p.82-116, 1997.

FRIEDL, R. A. **Dinâmica da forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucária angustifolia* (Bert) Ktze**. 1989. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

GALLOWAY, G.; UGALDE, L.; VASQUEZ, W. Importance of density reductions in tropical plantations: experiences in Central America. **Forests, Trees and Livelihoods**, v. 11, n. 3, p. 217-232, 2001.

GARAY, L. **Tropical forest utilization system. VIII. A taper model for entire stem profile including buttressing**. Seattle: Institute of Forest Resources, College of Forest Resources, 1979. 64p.

GOMIDE, J. L. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

GOMINHO, J.; PEREIRA, H. Variability of heartwood content in plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Wood and Fiber Science**, v. 32, n. 2, p. 189-195, 2000.

GONÇALVES, F. G. et al. Parâmetros dendrométricos e correlações com as propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, v. 34, n. 5, p. 947-959, 2010.

GOULART, M. et al. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, v.13, n. 2, p.167-175, 2003.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of linear model**. 8 ed. Belmont: Duxbury, 1976. 704 p.

HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v. 258, n.1, p. 18-25, 2009.

HASELEIN, C. R. et al. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

HASELEIN, C.R. et al. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12 % de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith quando submetido a diferentes espaçamentos e doses de adubação. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.

HENSKENS, F. L.; BATTAGLIA, M.; CHERRY, M. L.; BEADLE, C. L. Physiological basis of spacing effects on tree growth and form in *Eucalyptus globulus*. **Trees**, v. 15, p. 365-377, 2001.

HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1997. 362 p.

HILLIS, W. E. **Heartwood and tree exudates**. 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 268 p.

Indústria Brasileira de produtores de Árvores (IBÁ). **Relatório IBÁ 2017 ano base 2016**. Brasília: 2017. 80 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 10 maio. 2018.

Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER). **Programa de Assistência Técnica e Extensão rural PROATER 2011-2013-Soretama, Planejamento e Programação de Ações -(2011)**. Disponível em:<<https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Soretama.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

KEINERT JUNIOR, S. **Laboratory evaluation of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus robusta* for the manufacture of composition board**. 1980. 184 f. Thesis (Ph.D. in Philosophy) - Michigan State University, 1980.

KERSHAW JUNIOR, J. A. et al. **Forest mensuration**. 5. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. 633 p.

KOLLMAN, F. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. 2.ed. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicios de la Madera, 1959. 647p.

KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in forest inventory. **The Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

LATORRACA, J.V.; ALBUQUERQUE, C.E. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v.7, n. 1, p.279-291, 2000.

LEAL, F. A.; CASTRO R. V. O.; MATRICARDI, E. A. T. Validação de modelos de afilamento para estimativa do diâmetro, altura e volume em povoamento comercial de eucalipto. **Revista Brasileira de Biometria**, v.35, n.3, p.449-460, 2017.

LEITE, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Árvore**, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

LEITE, H. G. **Conversão de fustes em multiprodutos de madeira, utilizando programação dinâmica**. 1994. 230 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Árvore**. v. 30, n. 4, 2006.

LELES, P. S. S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos**. 1995. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

LELES, P. S. S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Árvore**, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

LIMA, I. L, GARCIA, J. N. Influência do desbaste em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 151-160, dez. 2005.

LOPES, M. C. et al. Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 133-144, 2004.

MACEDO, R. L. G. et al. Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L.f. (TECA) em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 61-69, 2005.

MAGALHÃES, W. M. et al. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na região noroeste de Minas Gerais. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.

MAGALHÃES, W.M, et al. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus spp.* em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, v.12, n.2, p. 01-07, 2006.

MAX, T. A.; BURKHART, H. E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, v.22, n.3, p.283-289, 1976.

MELO, R. R. et al. Análise da influência do diâmetro no rendimento em madeira serrada de cambará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 393-398, out./dez. 2016.

MENDONÇA, A. R, et al. Growth and yield models for eucalyptus stands obtained by differential equations. **Scientia Agricola**. v.74, n.5, p.364-370, 2017.

MENDONÇA, A. R., et al. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus sp.* Para multiprodutos. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 71-82, jan./mar. 2007.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. uroplylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia Nir**. 2009. 142f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MILLER, R. B. Structure of wood. In: _____. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: Forest Products Laboratory, 1999. p. 2-4.

MIRANDA, I.; GOMINHO, J.; PEREIRA, H. Variation of heartwood and sapwood in 18-year-old *Eucalyptus globulus* trees grown with different spacings. **Trees**, v. 23, n. 2, p. 367–372, 1 abr. 2009.

MONTE, M. A. et al. Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.5, p.777-787, 2009.

MÔRA, R. **Funções de afilamento de forma variável e modelagem de efeitos mistos em fustes de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna***. 2015. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MÔRA, R. et al. Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 237-249, jun. 2014.

MOSCA, Y. **Avaliação da qualidade da madeira de três clones *Eucalyptus*, aos cinco anos de idade**. 2010. 39 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MOULIN, J. C. et al. Influência do espaçamento de plantio e irrigação na densidade e na massa seca em espécies de *Eucalyptus*. **Nativa**, Sinop, v.5, n.5, p.367-371, set./out. 2017.

- NASSUR, O. A. C. et al. Variações na qualidade de toras de *Toona ciliata* M. Roem. com dezoito anos de idade. **Cerne**, v. 9, n. 1, p. 43- 49, 2013.
- NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, out./dez. 2011
- NICOLETTI; M. F. et al. Descrição do perfil do fuste de árvores por meio das funções de afilamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 4, p. 365-372, 2016.
- NOGUEIRA, G. S. et al. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de Árvores de Pinus Taeda L. **Árvore**, v. 32, n. 5, p. 855-860, 2008.
- NOGUEIRA, G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2003.145 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- OLIVEIRA, A. C. et al. Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 59 - 68, jan./mar. 2012.
- OLIVEIRA, A. C. et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.
- ORELLANAA, E., KOEHLERB, E. A. B. Relações Morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237, abr./jun. 2008.
- ORMEROD, D. W. A simple bole model. **Forestry Chronicle**, v.49, n.3, p.136-138, 1973.
- PARRESOL, B. R.; HOTVEDT, J. E.; CAO, Q. V. A volume and taper prediction system for bald cypress. **Canadian Journal of Forest Research**, v.17, n.3, p.250-259, 1987.
- PEREIRA, B. L. C., et al. Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 217-225, jun. 2013.
- PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; LOPES, L. R.; MARQUES, S. Sistema de plantio adensado para revegetação de áreas degradadas da Mata Atlântica: bases ecológicas e comparações de estudo: benefício com o sistema tradicional. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 4, p. 30-41, 1997.
- PRODAN, M. et al. **Mensura Forestal**. San Jose: IICA, 1997. 586 p.
- QUEIROZ, D. et al. Avaliação e validação de funções de afilamentos para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos da região metropolitana de Curitiba. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 183-199, 2006.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing, version 3.2.4**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RAGLAND, K. W.; AERTS, D. J.; BAKER, A. J. Properties of Wood for Combustion Analysis. **Bioresource Technology**, v. 37, n. 2, p. 161-168, 1991.

RANCE, S. J. et al. Na evaluation of the conical approximation as a generic model for estimating stem volume, biomass and nutrient content in young *Eucalyptus* plantations. **New Forests**, Amsterdam, v. 43, n. 1, p. 109-128, 2012.

RAYMOND, C.; APIOLAZA, L.; Incorporating wood quality and deployment traits in *E. globulus* and *E. nitens*. In: Walter, C.; Carson, M. (Org.). **Plantation forest Biotechnology for the 21st Century**, Research Signpost: Kerala, 2004, p. 87-99.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, v.40,176-195. 1993.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.1, p.1-17, 1996.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 315-320. 2010.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. **Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., 1993, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte, MG: UFV, 1993, p. 161-172.

ROCHA, M. F. V. et al. Propriedades energéticas do carvão vegetal em função do espaçamento de plantio Ciência da Madeira. **Brazilian Journal of Wood Science**, v. 8, n. 2, p54-63, 2017.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SALAS, E. C; CHINCHILLA, O; CHACÓN, F. M. Comparación de dos sistemas de aclareos en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. en la península de Nicoya, Costa Rica. *Revista Forestal Venezolana*, v. 57, n.2, p.131-145, 2013.

SANTOS, F. R. **Caracterização dendrométrica e avaliação econômica de povoamentos de eucalipto para multiprodutos**. 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

SANTOS, R. C. et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

SCHNEIDER, P. R. et al. Produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 129-140, 1998.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. 1 ed. Santa Maria: UFSM, 1993. 348 p.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo florestal: planejamento da produção florestal**. Santa Maria: UFSM, 2002. 492 p.

SCHOEPFER, W. **Automatisierung des Masses, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestände Schriftenreihe Bad**. Koblenz: Wurt-Forstl, 1966. Não paginado.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: medição e volumetria de árvores**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998b. 310p.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: Universidade Federal de Lavras. FAPE. 1998a, 433 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos da madeira**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 292 p.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria Florestal: medição, volumetria e gravimetria**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 285 p.

SCOLFORO, J.R.S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Mensuração florestal 2: volumetria**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 126p.

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p.109-124. 2000.

SILVA, D.A.; TRUGILHO, P.F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e albarno utilizando-se a metodologia de análise de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Cerne**, v.9, n.1, p.056-065, 2003.

SILVEIRA, E. R., REINER, D. A., SMANIOTTO, J. R. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *eucalyptus dunnii* na região sudoeste do Paraná. **Revista Técnico Científica**, Curitiba, n. 2, p. 1-9, 2014.

SMITH, H. G., WALTERS, J., WELLWOOD, R. W. Variation in sapwood thickness of Douglas-fir in relation to tree and section characteristics. **Forest Science**, v. 12, n. 1, p. 87-103, 1996.

SMITH, W. D.; STRUB, M. R. Initial spacing: how many trees to plant. In: DURYE, M. L.; DOUGHERTY, P. M. (Org.) **Forest regeneration manual**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 281-289.

SOARES, C. P. B. et al. Equações hipsométricas, volumétricas e de *taper* para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n5, p.1039-1051, 2011.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUSA, A. L. **Dendrometria e inventário Florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 276p.

SOARES, T. S. et al. Avaliação econômica de plantações de Eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.4, p.481-486, 2003b.

SOARES, T. S. et al. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Árvore**, v. 27, n.5, p. 689-694, 2003a.

SOUZA, R. R. et al., Forma de fuste de árvores de *Eucalyptus* em plantios com diferentes densidades iniciais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 33-40, mar. 2016.

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

SULLIVAN, A. D.; CLUTTER, J. L. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine. **Forest Science**, v.18, n. 1, p. 76-86, 1972.

TÉO, S. J, MIGUEL, E. P, NASCIMENTO, R. G. M. Modelos de afilamento e forma dos fustes de eucalipto, em diferentes qualidades de sítio. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. especial, p. 832-841, dez. 2018

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. 2006. 135 f. Tese (Livre-Docência) –Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

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

TONG, Q. J.; ZHANG, S. Y. Stem form variations in the natural stands of major commercial softwoods in eastern Canada. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 6, p. 1303-1310, 2008.

TREVISAN, R. et al. Efeito da intensidade de desbaste na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 825-831, out./dez. 2009.

TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação de clones de Eucalyptus para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v.7, n.2, p.104-114, 2001.

TRUGILHO, P. F. et al. Estimativa de carbono fixado na madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v.16, p. 33-40, jul. 2010.

TRUGILHO, P. F.; DA SILVA, D. A. A influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, v. 2, n. 1, p. 45-53, 31 dez. 2001.

VALLE, M. L. A. et al. Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 483-492, 2013.

WILKES, J. Heartwood development and its relationship to growth in *Pinus radiata*. **Wood Science and Technology**, v. 25, n. 2, p. 85-90, 1991.

WILKINS, A. P. Sapwood, heartwood, and bark thickness of silviculturally treated *Eucalyptus grandis*. **Wood Science and Technology**, v. 25, n.2, p. 415-423, 1991.

YANG, K. C.; HAZENBERG, G. Relationship between tree age and sapwood/heartwood width in *populus tremuloides michx.* **Wood and Fiber Science**, v.23, n. 2, p. 247-252, 1991.

ZANUNCIO, A. J. V. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 755-760, out./dez., 2013.