



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

QÜINNY SOARES ROCHA

**MANEJO DE EUCALIPTO SUBMETIDO A DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E
PESOS DE DESBASTES VISANDO MULTIPRODUTOS**

Orientador: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça

Coorientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

QÜINNY SOARES ROCHA

**MANEJO DE EUCALIPTO SUBMETIDO A DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E
PESOS DE DESBASTES VISANDO MULTIPRODUTOS**

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 Manejo de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça

Coorientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2021

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

R672 m Rocha, Qüinny Soares, 1990-
Manejo de eucalipto submetido a diferentes espaçamentos e pesos de desbastes visando multiprodutos / Qüinny Soares Rocha. - 2021.
88 f. : il.

Orientador: Adriano Ribeiro de Mendonça.
Coorientador: Gilson Fernandes da Silva.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Forestry management. 2. Eucalipto. 3. Economia Florestal. I. Mendonça, Adriano Ribeiro de. II. Silva, Gilson Fernandes da. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

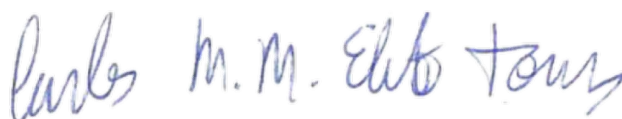
CDU: 630

**MANEJO DE EUCALIPTO SUBMETIDO A DIFERENTES ESPAÇAMENTOS
E PESOS DE DESBASTES VISANDO MULTIPRODUTOS**

Quinny Soares Rocha

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.

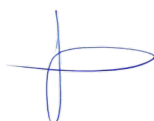
Aprovada em 18 de fevereiro de 2021.



Prof. Dr. Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres (Examinador externo)
Universidade Federal de Viçosa



Prof^a. Dr^a. Elzimar de Oliveira Gonçalves (Examinadora interna)
Universidade Federal do Espírito Santo



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



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

À todas as mulheres da minha vida,
principalmente as que estão apenas na minha
memória e no meu coração, e a minha mais
nova anjinha da guarda Nenguinha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que nunca me deixou desistir, a Nossa Senhora Aparecida pelas bênçãos, a São Miguel Arcanjo pela proteção e a Nossa Senhora Desatadora dos Nós por me guiar nos meus caminhos.

Ao departamento de Ciências Florestais e da Madeira e a Pós-graduação em Ciências Florestais da UFES que me acolheram de braços abertos. À CAPES, pelo auxílio financeiro que permitiu meu custeio e a condução desta pesquisa.

Ao Projeto Biomass/Mata Atlântica, que me proporcionou trabalhar com a economia de projetos florestais de produtores rurais.

Ao meu orientador Adriano e coorientador Gilson, por ter tornado essa pesquisa realidade e por todo o conhecimento transmitido.

Ao Lamflor, principalmente nas pessoas do Jeferson e Evandro, por todo apoio, cuja ajuda foi imprescindível para a realização desse trabalho. Não há coxinha que pague vocês. E a Quétilla, que além de me auxiliar no meu trabalho, me deu todo o apoio emocional, sem você eu não teria saído do lugar.

Às minhas amigas, confidentes e companheiras Ritinha e Natália por todas as risadas e comidas compartilhadas e principalmente a Naruna, que me tolerou todos os dias de quarentena, e me deu todo o suporte que eu precisava em todos os aspectos.

A todas as amigas e amigos, aos novos e velhos, que deixaram os meus dias mais leves.

À toda a minha família, pelas orações, vibrações e comemorações, e que muitas vezes ficaram mais empolgados que eu mesma ao longo da minha vida acadêmica e profissional. E principalmente aos meus pais Carlim e Rosinha, que sempre me apoiaram nas minhas decisões e à minha irmã Karen, pelo exemplo de vida. As minhas tias Ruth e Mirtes, pela amizade e por sempre zelarem pela minha educação. À minha prima Hemyle, que me acolheu como a terceira moradora do 401 e deixou a saudade da família um pouco mais branda.

Os meus sinceros e eternos agradecimentos.

Estude como uma mulher, trabalhe como uma mulher, lute como uma mulher e vão te respeitar como homem.

Ainda “é uma questão de manter a mente quieta, a espinha ereta e o coração tranquilo”.

Walter Franco

RESUMO

ROCHA, Quinny Soares. **Manejo de eucalipto submetido a diferentes espaçamentos e pesos de desbastes visando multiprodutos.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça. Coorientador: Dr. Gilson Fernandes da Silva.

Diferentes espaçamentos e a aplicação de desbastes são utilizados para a produção de madeira de maiores dimensões e melhor qualidade, possibilitando sua destinação para multiprodutos sendo necessária a análise da viabilidade econômica para verificar o retorno econômico. Diante disso, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a produção (diâmetro, altura, volume e biomassa do fuste) e a viabilidade econômica de plantios do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos e pesos de desbaste com destinação da madeira para multiprodutos no estado do Espírito Santo. Para isso, foi instalado um experimento sob o delineamento em blocos ao acaso, com seis tratamentos (espaçamento 3x3 m; 3x2 m; 2x2 m; e 2x2 m com 20; 40 e 60% de desbaste). Para avaliar a produção, a partir dos dados de inventário florestal, foi realizada a análise de variância e o teste de Scott Knott ao nível 5% de probabilidade das variáveis diâmetro a 1,30 m do solo (*DAP*) e a altura total (*H*), volume total e biomassa do fuste individual e por hectare, aos 61 meses de idade. Para a projeção do *DAP* e *H*, foram testados três modelos de ajuste, sendo a produção projetada para 72, 84, 96 e 108 meses de idade. A produção do desbaste foi destinada para duas categorias de mourões e lenha e a produção do corte final foi destinada para serraria, mourões e lenha. Foram coletados todos os custos inerentes aos plantios de eucalipto bem como as receitas obtidas com a venda dos multiprodutos. Foram calculados o Valor Presente Líquido, Valor Anual Uniforme Equivalente, Taxa Interna de Retorno e Relação Benefício Custo, com a taxa de desconto de 6% ao ano para a colheita aos 84 meses de idade. Foi realizada a análise de sensibilidade variando os custos de produção, o valor de venda dos multiprodutos, a quantidade produzida, a idade de colheita e as taxas de desconto. Também foram avaliados os plantios com espaçamento 3x3 m e 3x2 m destinados para celulose aos 72 e 84 meses de idade. Considerando *DAP*, *H*, volume total e biomassa individual, o espaçamento 3x3 m produziu as maiores médias. Para as variáveis volume total e biomassa por hectare, as maiores médias foram obtidas pelos tratamentos com

espaçamento 2x2 m com de desbaste 6 e 40%. Para os projetos analisados aos 84 meses de idade, nenhum tratamento foi viável economicamente para a taxa de desconto de 6% a.a. Ao reduzir os custos de produção em 20%, os tratamentos 2x2 m com 40 e 60% de desbaste apresentaram viabilidade econômica. Com o aumento do valor de venda dos multiprodutos em 20%, o espaçamento 2x2 m com 60% de desbaste também apresentou viabilidade econômica. Já para a taxa de desconto de 1,9%, apenas o espaçamento 2x2 m foi inviável economicamente. Os plantios destinados apenas para a celulose foram inviáveis economicamente para todos os horizontes de planejamento considerados. O menor espaçamento aliado a prática do desbaste aumentou a produção final em volume e biomassa e ao reduzir os custos de produção ou a taxa de desconto, ou aumentar valor de venda, os multiprodutos são uma alternativa viável para os produtores rurais.

Palavras-chave: Diâmetro, altura, volume, biomassa, avaliação econômica de projetos.

ABSTRACT

ROCHA, Quinny Soares. **Eucalyptus management submitted to different spacing and thinning weights aiming at multi-products**. 2021. Dissertation (Master in Forest Sciences) Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça. Co-advisor: Gilson Fernandes da Silva.

Different spacing and the application of thinning are used for the production of larger and better-quality wood, allowing its destination for multi-products, being necessary the analysis of the economic viability to verify the economic return. Therefore, the objective of this research was to evaluate the production (diameter, height, volume and biomass of the bole) and the economic viability of plantations of the hybrid *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* in different spacing and thinning weights with destination of wood for multi-products in the state of the Holy Spirit. For this, an experiment was installed under a randomized block design, with six treatments (spacing 3x3 m; 3x2 m; 2x2 m; and 2x2 m with 20; 40 and 60% thinning). To assess production, using forest inventory data, analysis of variance and the Scott Knott test were performed at the 5% probability level of the diameter variables at 1.30 m from the ground (*DBH*) and the total height (*H*), total volume and biomass of the individual shaft and per hectare, at 61 months of age. For the projection of the *DAP* and *H*, three adjustment models were tested, with the production projected for 72, 84, 96 and 108 months of age. The production of thinning was destined for two categories of fencepost and firewood and the production of the final cut was destined for sawmills, fencepost and firewood. All the costs inherent to the eucalyptus plantations were collected, as well as the revenues obtained from the sale of the multi-products. Net Present Value, Equivalent Uniform Annual Value, Internal Rate of Return and Cost Benefit Ratio were calculated, with a discount rate of 6% per year for the harvest at 84 months of age. Sensitivity analysis was carried out varying the production costs, the sales value of the multi-products, the quantity produced, the age of the harvest and the discount rates. Plantations with 3x3 m and 3x2 m spacing destined for cellulose at 72 and 84 months of age were also evaluated. Considering *DAP*, *H*, total volume and individual biomass, the 3x3 m spacing produced the highest averages. For the variables total volume and biomass per hectare, the highest averages were obtained by treatments with 2x2 m spacing with thinning 6 and 40%. For the projects analyzed at 84 months of age, no treatment was economically viable for the discount rate of 6% per year. By reducing

production costs by 20%, 2x2 m treatments with 40 and 60% thinning showed economic viability. With the 20% increase in the sale value of multi-products, the 2x2 m spacing with 60% thinning also showed economic viability. As for the 1.9% discount rate, only the 2x2 m spacing was economically unfeasible. Plantations destined only for cellulose were economically unfeasible for all planning horizons considered. The smaller spacing combined with thinning has increased the final production in volume and biomass and, by reducing production costs or the discount rate, or increasing sales value, multi-products are a viable alternative for rural producers.

Keywords: Diameter, height, volume, biomass, economic evaluation of projects.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise de solo da área do experimento realizada em 2012.	29
Tabela 2: Estatísticas descritivas dos dados de diâmetro à 1,30 m do solo (<i>DAP</i>) e altura total (<i>H</i>) das árvores <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> medidas aos 61 meses.	31
Tabela 3: Estimativas dos parâmetros e estatísticas de desempenho do modelo de Demaerschalk (1972) para cada tratamento analisado.	32
Tabela 4: Estatística descritiva dos dados de <i>DAP</i> e <i>H</i> das árvores <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> , utilizadas para a projeção das variáveis, medidas aos 27, 36, 48 e 61 meses.	34
Tabela 5: Modelos analisados para projeção do <i>DAP</i> e <i>H</i> de árvores de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> aos 72, 84 e 96 meses.	35
Tabela 6: Estatísticas para avaliação do desempenho de modelos analisados para projeção do <i>DAP</i> e <i>H</i>	35
Tabela 7: Descrição das dimensões das toras dos multiprodutos selecionados para a destinação da produção.	36
Tabela 8: Planilha de custos para o espaçamento 2x2 m com 60% de desbaste considerando a colheita aos 84 meses de idade.	37
Tabela 9: Valor de venda da madeira para multiprodutos.	38
Tabela 10: Indicadores econômicos selecionados para análise econômica.	39
Tabela 11: Análise de variância das variáveis <i>DAP</i> , <i>H</i> , volume e biomassa do fuste (árvore e hectare) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	42
Tabela 12: Resultado do teste de Scott-Knott para diâmetro e altura das árvores. ...	42
Tabela 13: Resultados do teste de médias de Scott-Knott para a média do volume e biomassa por parcela, volume total e biomassa do fuste individual e por hectare ...	43
Tabela 14: Estimativa dos parâmetros e estatísticas para avaliar o desempenho do ajuste dos modelos de projeção do <i>DAP</i> das árvores de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	44
Tabela 15: Estatísticas de avaliação do desempenho dos ajustes dos modelos de projeção do <i>DAP</i> das árvores de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> para a base de dados Completa calculada para cada tratamento.	46

Tabela 16: Estimativa dos parâmetros e estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho do ajuste dos modelos de projeção da <i>H</i> das árvores de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	53
Tabela 17: Estatísticas de avaliação do desempenho dos ajustes dos modelos de projeção da altura total das árvores de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> para a base de dados Completa calculada para cada tratamento.....	54
Tabela 18: Produção total estimada de multiprodutos (desbastes e produção remanescente projetada) aos 72, 84, 96 e 108 meses de idade para cada tratamento.	59
Tabela 19: Resultados dos indicadores econômicos com corte final aos 84 meses de idade com a taxa de desconto do Empréstimo Bancário de 6 % a.a.	60
Tabela 20: Análise da venda da produção para a celulose com a taxa de desconto 6% a.a.	64
Tabela 21: Quantidade de produtos por hectare dos desbastes dos tratamentos 2x2m com 20, 40 e 60% de desbaste	85
Tabela 22: Valores do VAUE (R\$ ha ⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação da idade de colheita aos 72, 84 e 96 meses de idade para a taxa de desconto de 6% ao ano	85
Tabela 23: Valores do VPL (R\$ ha ⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação dos custos de produção aos 84 meses de idade para a taxa de desconto de 6% a.a.	86
Tabela 24: Valores do VPL (R\$ ha ⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação dos valores de venda dos multiprodutos aos 84 meses de idade de corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.....	86
Tabela 25: Valores do VPL (R\$ ha ⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação da produção aos 84 meses de idade de corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.	87
Tabela 26: Valores do VPL (R\$ ha ⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação da taxa de desconto considerando os valores da taxa Selic dos anos de 2013 a 2020 com corte final aos 84 meses de idade	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização e esquema do experimento em estudo.	28
Figura 2 – Fluxograma das etapas metodológicas do estudo.	30
Figura 3: Gráficos da distribuição de resíduos das projeções dos diâmetros das árvores de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> para cada tratamento.	48
Figura 4: Histogramas de frequência dos <i>DAP</i> observados (barras) e estimados (linha), para cada idade, dos modelos ajustados por tratamento.	49
Figura 5: Gráficos da distribuição de resíduos da projeção das <i>H</i> de todos os tratamentos.	55
Figura 6: Histogramas de frequência das alturas totais observadas (barras) e alturas totais estimadas (linha), para cada idade e modelo ajustado.	56
Figura 7: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação dos custos de produção aos 84 meses de idade do corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.	61
Figura 8: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação dos valores de venda dos multiprodutos aos 84 meses de idade do corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.	62
Figura 9: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação da produção dos multiprodutos aos 84 meses de idade do corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.	62
Figura 10: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação das idades de corte final aos 72, 84 e 96 meses de idade com a taxa de desconto de 6% a.a.	63
Figura 11: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação da taxa de desconto considerando os valores da Taxa Selic do 2013 a 2020, com o corte final aos 84 meses de idade.	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo Geral	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1. Manejo da Produção Florestal.....	19
3.2. Espaçamento de plantio	20
3.3. Desbaste.....	21
3.4. Projeção da produção	23
3.5. Estimação de multiprodutos	25
3.6. Análise econômica de plantios florestais	26
4. METODOLOGIA	28
4.1. Caracterização da área em estudo.....	28
4.2. Avaliação da produção de povoamentos de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i> em diferentes espaçamentos e pesos de desbastes	30
4.2.1. Obtenção dos dados de diâmetro, altura total, volume total e biomassa do fuste de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i>	30
4.2.2. Análise de variância das variáveis diâmetro, altura total, volume total e biomassa do fuste <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i>	32
4.3. Análise da viabilidade econômica das alternativas de manejo de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i>	33
4.3.1. Projeção da produção em volume dos fustes das árvores dos tratamentos analisados.....	33
4.3.2. Quantificação dos multiprodutos gerados por tratamento.	35
4.3.3. Avaliação econômica das alternativas de manejo de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i>	36
5. RESULTADOS	41
5.1. Análise de variância e teste de médias das variáveis diâmetro, altura total, volume e biomassa do fuste de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i> ...	41
5.2. Projeção dos diâmetros das árvores de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i>	44

5.3. Projeção das alturas das árvores de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i>	52
5.4. Projeção da produção de madeira e multiprodutos para os tratamentos analisados.....	59
5.5. Avaliação econômica dos tratamentos analisados	60
6. DISCUSSÃO	66
6.1. Produção em diâmetro, altura total, volume total e biomassa do fuste de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i>	66
6.2. Projeção da produção de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i>	69
6.3. Viabilidade econômica do manejo de <i>Eucalyptus urophylla</i> × <i>Eucalyptus grandis</i> para multiprodutos.....	70
7. CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS.....	75
8. APÊNDICES.....	85
8.1. Quantidade de produtos por hectare dos desbastes realizado aos 40 meses de idade.....	85
8.2. Tabelas dos resultados das análises de sensibilidade.....	85

1. INTRODUÇÃO

Para suprir a demanda de madeira, tanto nacional quanto internacional, os empreendimentos florestais buscam otimizar a produtividade, maximizar os lucros e minimizar os desperdícios (QUEIROZ; SILVA, 2016). Para alcançar esses objetivos, é essencial o conhecimento das práticas que influenciam a dinâmica de crescimento e desenvolvimento dos plantios florestais, como a escolha do espaçamento (NOGUEIRA et al., 2015) e a aplicação de desbastes (NEILSEN; GERRAND, 1999).

Estudos sobre espaçamentos são importantes para cada região, pois cada sítio florestal possui suas próprias características edafoclimáticas, que aliadas aos fatores bióticos de cada espécie ou híbrido, geram diferentes comportamentos de crescimento (FERREIRA et al., 2014). Em plantios florestais, o espaçamento inicial adotado pode afetar as taxas de crescimento (LEMOS et al., 2015) e influenciar a qualidade da madeira (MAGALHÃES et al., 2020).

A prática do desbaste permite a produção de madeira de vários diâmetros (RETSLAFF et al., 2012), e em mais períodos do plantio, não somente ao final do ciclo (DOBNER JÚNIOR; HIGA; URBANO, 2012). Isso possibilita um leque de opções como a produção de celulose, carvão, chapas, aglomerados, lâminas, compensados, madeira serrada e móveis (SOARES et al., 2003a), dentre outros. Isso é um diferencial competitivo, pois agrega flexibilidade na comercialização dos produtos e na redução dos riscos e prejuízos (SOARES; CARVALHO; VALE, 2003).

A variedade de produtos oriundos do manejo para multiprodutos diminui a possibilidade de prejuízos associado a oferta e demanda dos produtos florestais (VITALE; MIRANDA, 2010). Como forma de selecionar a melhor alternativa de manejo, há a necessidade de realizar uma análise da viabilidade econômica, pois esta assume um importante papel no processo de decisão e aprimora o gerenciamento da produção (MATTOS et al., 2014). A análise da viabilidade econômica das atividades de manejo florestal como os diferentes espaçamentos, aplicação do desbaste e a destinação da produção para multiprodutos em plantios de eucalipto são necessárias para auxiliar os

produtores florestais na tomada de decisão do melhor manejo a ser adotado para alcançar os objetivos desejados.

Diante do exposto, o estudo de técnicas do espaçamento ideal aliado a prática do desbaste para melhorar o rendimento dos plantios, tanto na produtividade como no aproveitamento da madeira produzindo multiprodutos, associado a análise econômica ajuda na seleção da melhor alternativa de manejo do ponto de vista técnico e econômico.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a produção (diâmetro, altura, volume e biomassa) e a viabilidade econômica de plantios do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos e pesos de desbaste com destinação da madeira para multiprodutos no estado do Espírito Santo.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar a produção em altura total, diâmetro, volume e biomassa do fuste dos tratamentos com espaçamentos e pesos de desbastes aplicados.
- Analisar a viabilidade econômica dos plantios considerando os multiprodutos madeireiros para os diferentes espaçamentos e pesos de desbaste adotados.
- Comparar o retorno econômico do plantio de eucalipto tradicional destinado a produção de celulose com os projetos alternativos considerando os tratamentos adotados destinados para multiprodutos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Manejo da Produção Florestal

O manejo florestal integra práticas silviculturais e análises econômicas de maneira a conduzir os plantios florestais a atingirem seus objetivos, levando em consideração também os aspectos ecológicos e sociais. Como atividades de manejo florestal, podem ser destacadas a escolha do espaçamento, controle de pragas e doenças, controle da matocompetição, adubação, plantio, desbastes, desramas, dentre outras. Então, o manejador é responsável por decidir corretamente o momento e o local das atividades e avaliar o custo-benefício associado a cada uma delas (BETTINGER et al., 2009).

Regimes ou sistemas de manejo contemplam as descrições das atividades que devem ser aplicadas para melhor atender aos objetivos previstos para a floresta. Geralmente, fornecem orientação para as atividades de implementação, previsão dos níveis de colheita, otimização do uso de recursos limitados e equilibrar os interesses econômicos, sociais e ambientais (BETTINGER et al., 2017). Na prática, os regimes de manejo indicam por exemplo quando e como devem ocorrer as operações de plantio, os desbastes, desrama, colheita, dentre outras práticas inerentes aos plantios florestais (GROSSBERG, 2009) que tem como objetivo principal o aumento da produtividade dos povoamentos florestais (MATHEWS, 1996).

Existem vários sistemas de manejo de florestas nativas e plantadas que são utilizados por diversos países no mundo de acordo com o interesse e dinâmica de produção da Floresta (FAO, 1989). Em relação ao objetivo da produção, os mais difundidos para florestas de produção são os sistemas de *Pulpwood*, *Clearwood* e *Utility*. Scolforo, (1998) caracteriza o Sistema *Pulpwood* como o regime de manejo que prioriza a produção de madeira de menores dimensões. Nesse sistema não são aplicadas intervenções periódicas e o corte raso ocorre em idade intermediária, variando com o sítio. Nesse sistema, normalmente a densidade populacional é maior que nos demais regimes. No Sistema *Utility*, são produzidas toras de diversas dimensões, oriundas de desbastes periódicos durante o ciclo produtivo do plantio (SCOLFORO, 1998). O Sistema *Clearwood* tem como objetivo é a produção de madeira de maiores

dimensões e livres de nós. São características do sistema a aplicação de técnicas como a desrama artificial e o desbaste.

Em relação a condução das florestas plantadas, no Brasil, os regimes de manejo mais utilizados são o Alto Fuste e Talhadia. No sistema de alto fuste, após o corte raso da floresta, realiza-se o replantio da área (reforma) que normalmente é realizado na entrelinha do plantio antigo. No manejo do alto fuste são necessários os seguintes tratos culturais à formação da floresta: preparo do solo, plantio, irrigação, adubação, controle de pragas, doenças e da matocompetição (ALVES et al., 2018). De acordo com os mesmos autores, no Sistema de Talhadia, após o corte raso de todas as árvores existentes no povoamento, as gemas dormentes ou adventícias dos tocos e, ou raízes que permaneceram na área se desenvolvem, emitindo brotações que iniciam um novo ciclo florestal. Este sistema é aplicável apenas às espécies florestais que tenham capacidade de brotar após o corte raso, como é o caso de algumas espécies do gênero *Eucalyptus*.

3.2. Espaçamento de plantio

A densidade do plantio está diretamente ligada ao espaçamento, pois expressa a quantidade de plantas por unidade de área podendo ser medida por meio da área basal do povoamento (VALE et al., 2014). A densidade é essencial para a implantação dos projetos florestais, pois influencia no estabelecimento, condução da floresta e nos custos de produção, podendo interferir na taxa de crescimento das árvores, idade de corte, qualidade da madeira e nas práticas de manejo e colheita (RIBEIRO et al., 2017).

A escolha adequada do espaçamento proporciona para cada árvore o espaço necessário para o máximo crescimento produzindo madeira de melhor qualidade e menores custos (FERREIRA et al., 2014). Além disso, possibilita incrementos superiores e diminuição da idade de colheita, gerando florestas com alta produtividade (SEREGHETTI et al., 2015). Essa escolha pode ser realizada no intuito de atender ao mercado consumidor com a produção de madeira em diferentes diâmetros exigidos pelos produtos madeireiros (BENIN; WATZLAWICK; HILLIG, 2017).

As operações de plantio são diretamente influenciadas pelo espaçamento. Para povoamentos com a mesma espécie e sítio, o espaçamento interfere na produção de madeira, na taxa de crescimento das árvores, no sortimento do fuste, na idade de estagnação do crescimento, na taxa de mortalidade e dominância das árvores, práticas de implantação, manejo e exploração, qualidade da madeira, tamanho da copa, produção de frutos e custos com a produção (SCHUMACHER; VIEIRA, 2016).

Estudos variando o espaçamento são importantes em diferentes regiões para assim obter respostas dos plantios de eucalipto em determinadas condições, proporcionando a redução na possibilidade de erro na adoção do melhor espaçamento a ser implantado (FERREIRA et al., 2014). Estudos que abordam diferentes espaçamentos de plantios de *Eucalyptus* spp. no Brasil e no mundo são encontrados nos trabalhos de Caron et al. (2015), Nagar et al. (2015), Peng et al. (2014), Moulin et al. (2017), Ribeiro et al. (2017), Brianezi et al. (2019), West e Smith (2020).

3.3. Desbaste

É desejado, no manejo florestal, o aproveitamento máximo da capacidade do sítio e que as árvores tenham condições de alcançar as dimensões desejadas. Em povoamentos com baixa densidade, as árvores não aproveitam todos os nutrientes, água e luz disponíveis no local, conseqüentemente, não produzem o seu máximo. Em contrapartida, se a densidade do plantio for muito alta, os nutrientes, água e luz, que estão à disposição, não suprem as necessidades para o desenvolvimento das árvores. Nessa situação, é indicado a prática do desbaste (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

O desbaste é a remoção de um determinado número de árvores num povoamento florestal, com o objetivo de obter maior espaço de crescimento para as árvores remanescentes, e conseqüentemente, o aumento da produção de madeira utilizável durante o ciclo de corte do povoamento, além de garantir a produção contínua de madeira (CAMPOS; LEITE, 2017). Segundo estes autores, ao decidir desbastar um povoamento, devem ser considerados os objetivos do manejo, o espaçamento inicial, a qualidade do local, a mão de obra, equipamentos e o mercado para diferentes produtos madeireiros.

O desbaste pode ser definido pela quantidade de volume, indivíduos ou área basal a ser removida ou remanescente no povoamento. Os desbastes podem ser seletivos, sistemáticos ou mistos. O desbaste seletivo é aquele em que as árvores são removidas, ou não, de acordo com características pré-definidas. Normalmente, as árvores retiradas são as suprimidas, dominadas, com tortuosidades ao longo do fuste, doentes ou que sofreram ataques de pragas. Já o desbaste sistemático é aquele que obedece a um padrão de remoção, como por exemplo retirar uma fila de árvores a cada duas do plantio. O desbaste misto é a combinação entre o desbaste sistemático e o seletivo (VALE et al., 2014).

O peso ou intensidade do desbaste é medido pelo volume retirado em um único desbaste. O critério de seleção de árvores a serem retiradas, caracterizam os desbastes em neutro, por alto e por baixo. No desbaste neutro, são retiradas árvores de todas as classes de diâmetro de forma proporcional. O desbaste por baixo retira as árvores de menores diâmetros do povoamento (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). No desbaste por alto, são retiradas as árvores que estão em potencial competição com as maiores árvores. Assim, o desbaste proporciona uma melhor condição de crescimento para as árvores de maior interesse comercial (BURSCHEL; HUSS, 2003).

O intuito de se utilizar esse trato silvicultural é otimizar o crescimento das maiores árvores e minimizar a competição por nutrientes, luz e água. O desbaste é conduzido visando tanto a produção de madeira antes do corte final (CARDOSO JUNIOR et al., 2005), quanto o aprimoramento do padrão das florestas remanescentes normalmente por meio da retirada das árvores de menor porte, e ainda prevenir o ataque de pragas e doenças (ACUNA et al., 2017). Tal prática reduz o tempo de produção, originando fustes uniformes e de grandes dimensões e melhorando o rendimento volumétrico do plantio (SOARES et al., 2003b).

O desbaste também pode ajudar na prevenção de incêndios, por diminuir o material combustível dos povoamentos florestais (VOLKOVA et al., 2017). Nos estudos de Bai et al. (2017), constatou-se a melhoria da qualidade do solo depois do desbaste pela maior disponibilidade de nutrientes, principalmente do nitrogênio, fósforo e potássio. Já em Sohn, Saha e Bauhus (2016), o desbaste

foi avaliado como alternativa de sobrevivência das árvores remanescentes em períodos de estresse hídrico.

O gênero *Eucalyptus* é sensível à competição, que está relacionada, dentre outros fatores, ao espaçamento, espécie, qualidade do sítio e a interação entre esses fatores (SCHNEIDER et al., 2015). Quando a competição afeta a disponibilidade de luz, água e nutrientes ocorre o autodesbaste, que é o resultado da competição pela alta densidade do povoamento com a baixa capacidade do sítio. A idade também é um fator a ser considerado, pois a medida que os povoamentos vão envelhecendo, o autodesbaste aumenta, sendo indicado o desbaste considerando a capacidade produtiva do sítio e o crescimento da espécie (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Em estudos testando vários pesos e quantidades de desbastes em *Eucalyptus* spp. no Brasil analisando a produção final em volume, foram encontrados resultados diferentes. Em alguns casos os tratamentos com maior peso do desbaste produziam o maior volume (TREVISAN et al., 2007), e em outros casos não foram observadas diferença estatística entre a produção final dos diferentes pesos dos desbastes (DIAS et al., 2005; DOBNER JÚNIOR; HIGA; URBANO, 2012). Comparando os valores médios das árvores, os tratamentos com desbaste produziram indivíduos com maiores valores de DAP e altura total (FERRAZ FILHO et al., 2018).

3.4. Projeção da produção

A previsão da produção dos povoamentos florestais é de grande importância para o planejamento, pois é possível efetuar a prognose dos multiprodutos da madeira (BINOTI et al., 2010). A partir desse fato, há uma crescente necessidade do conhecimento da dinâmica de produção dos plantios florestais. Tal fato contribui para um contínuo aprimoramento das técnicas de construção de modelos de crescimento e produção (RESENDE et al., 2004). Estes modelos geram informações sobre o estoque presente e suas mudanças ao decorrer do tempo, que são de interesse para o manejador dimensionar as áreas de plantio, comercializar madeira, programar aquisição de áreas, entre outros (GONÇALVES et al., 2016). Assim, os modelos de crescimento e produção podem ser constituídos por uma ou mais equações, compondo um

sistema, que inclui uma ou mais variáveis independentes, sendo empregados para estimarem o crescimento e a produção (CARRIJO et al., 2020).

Esses modelos variam entre equações simples que calculam a produção por unidade de área em função da idade, sítio e densidade do povoamento, até modelos complexos, com sistemas de equações que simulam o crescimento individual das árvores de um povoamento (MIRANDA et al., 2015). Modelos de crescimento e produção são relações entre a quantidade da produção ou crescimento e os vários fatores que explicam ou preveem esse crescimento. As equações que representam essas relações podem ser implícitas ou explícitas, lineares ou não lineares. A equação é implícita quando as variáveis independentes são identificadas, porém não são quantificadas numericamente. A equação se torna explícita quando são atribuídos pesos às variáveis independentes (DAVIS et al., 2005). Os autores relatam que os modelos de crescimento e produção se diferenciam por modelar povoamentos inteiros, baseados em variáveis como idade ou área basal por hectare, ou considerando uma árvore média dentro de cada classe de diâmetro ou ainda tomando com amostra a árvore individualmente.

Os Modelos de Povoamento Total (MPT) produzem estimativas do crescimento e/ou da produção por unidade de área, sendo que o volume por área predito ou projetado é definido a partir de variáveis como idade, altura, área basal e índice de local. Já os Modelos de Distribuição Diamétrica (MDD) calculam o número de árvores e a produção por hectare, por classe de diâmetro. Assim, a produção total é obtida somando a variável de interesse em todas as classes de diâmetro (CASTRO et al., 2013). Esses modelos têm como característica, geralmente, o uso de funções de densidade de probabilidade (fdp). As fdps podem ser definidas como funções matemáticas que retratam a probabilidade de ocorrência da variável estudada em uma distribuição contínua. O intervalo de ocorrência desta variável aleatória é descrito pela integral desta função. Nesse aspecto, as fdps calculam a probabilidade de ocorrência de indivíduos dentro de um intervalo de classes diamétricas, definindo os limites inferior e superior (BINOTI; BINOTI; LEITE, 2015). Nos Modelos de Árvores Individuais (MAI), o crescimento e a produção são definidos para cada árvore individualmente, sendo que a produção do povoamento será a soma das produções individuais de cada árvore. Esse modelo utiliza variáveis como

diâmetro, altura e qualidade do local, e também indicam o grau de competição ao qual a árvore está submetida (AZEVEDO et al., 2016).

3.5. Estimação de multiprodutos

Há uma tendência entre os investidores florestais em diversificar a produção, destinando a madeira do plantio para multiprodutos na tentativa de equilibrar o retorno econômico em função da oscilação do preço e da demanda dos produtos florestais (TRINDADE et al., 2019). De acordo com Martins et al. (2016), os multiprodutos promovem um melhor aproveitamento da madeira, aumento nos lucros do plantio e a redução dos riscos de mercado sobre determinado produto, tornando essa alternativa de manejo interessante para o planejamento florestal.

A etapa de definição dos produtos que serão obtidos da madeira da floresta é complexa e sofre influência de vários fatores, dentre os quais destacam-se as características e especificações de cada produto como comprimento e diâmetros mínimos e máximos das toras, receita obtida, custo de processamento, características operacionais e demanda de mercado (CAMPOS; LEITE, 2017). Os modelos de afilamento são relações funcionais, muito utilizadas no setor florestal para estimação dos perfis dos fustes. Esses modelos estimam o diâmetro em uma determinada altura, a altura onde ocorre um diâmetro de interesse e o volume entre duas alturas, permitindo assim, modelar a forma do fuste da árvore ao longo de sua vida (KOZAK; MUNRO; SMITH, 1969).

As equações de afilamento, quando usadas em inventários florestais, fornecem informações sobre o número de toras destinadas a cada multiproduto florestal, possibilitando o planejamento da produção e logística de transporte e comercialização da madeira (SOARES; LEITE; VALE, 2004). Em outros países como Canadá, Uruguai, Colômbia, Turquia e Espanha, as equações de afilamento são mais utilizadas para estimar o volume comercial das árvores como forma de auxiliar na colheita e na avaliação econômica dos povoamentos (LI; WEISKITTEL, 2010; CECILIA et al., 2014; LÓPEZ; BARRIOS; TRINCADO, 2015; ÖZÇELIK; GÖÇERI, 2015; RODRÍGUEZ; LIZARRALDE; BRAVO, 2015).

Os modelos de afilamento também podem ser classificados de forma simplificada como modelos não segmentados e segmentados. Os modelos segmentados representam a forma do fuste da base até o ápice em uma única função. Já os não segmentados são ajustados por duas ou três seções do fuste (CAMPOS; LEITE, 2017). De acordo com os mesmos autores, o modelo mais difundido é o polinomial de Kozak, Munro e Smith (1969), por sua facilidade de ajustamento e precisão das estimativas. Outros modelos também são mencionados como o modelo de Demaerschalk (1972); Ormerod (1973); Garcia et al. (1993); Leite & Garcia (2001); Garay (1979); Baldwin Júnior & Feduccia (1991); e Pires & Calegrio (2007).

3.6. Análise econômica de plantios florestais

Os projetos florestais apresentam um longo ciclo de produção, tornando o processo de tomada de decisão mais difícil. Assim como em qualquer investimento, os agentes econômicos auxiliam a decidir quanto produzir (área), como produzir (manejo) e para quem produzir (destinação da madeira) (SIMIONI; HOEFLICH, 2006). Com isso, a análise econômica é uma importante ferramenta para identificar se o uso de técnicas silviculturais podem contribuir para a melhoria dos índices econômicos, além de auxiliar na escolha dos projetos com maior retorno econômico (FOLMANN et al., 2014).

A análise econômica de qualquer investimento abrange o emprego de técnicas e critérios de verificação que comparam as despesas e as receitas inerentes ao projeto, auxiliando na decisão se este deve ou não ser implementado. Essa análise é pautada no seu fluxo de caixa, que se baseia nas despesas e nas receitas distribuídos ao longo da vida útil do empreendimento (REZENDE; OLIVEIRA, 2013)

Para calcular os custos referentes à produção de eucalipto, é necessário o detalhamento de todas as atividades envolvidas no processo com suas respectivas máquinas, equipamentos, mão-de-obra, encargos sociais, havendo necessidade de realizar o acompanhamento e registro das operações envolvidas e seus respectivos gastos. De posse de tais informações, torna-se possível obter o custo da atividade desejada (CHICHORRO et al., 2017).

Existem várias técnicas para tais análises, que se dividem em dois principais grupos: indicadores para selecionar projetos e indicadores complementares. O Valor Líquido Presente (VPL) e Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE) são utilizados para selecionar projetos, pois indicam o mais rentável economicamente. Os indicadores Taxa Interna de Retorno (TIR), Razão Benefício/Custo (B/C) e Período de Recuperação do Capital (Pay-back) são calculados para projetos já selecionados como forma de um estudo mais aprofundado ou para desempate de projetos que possuam o VPL e VAUE semelhantes. Todas essas técnicas levam em conta a variação do capital no tempo, porém cada uma apresenta diferentes aspectos relacionados aos projetos (OLIVEIRA et al., 2020).

Outros indicadores econômicos também são utilizados para a análise da viabilidade dos projetos florestais, como o Valor Esperado da Terra (VET) (STANTURF et al., 2018); o Custo Médio Ponderado de Capital (Weighted Average Cost of Capital-WACC) que é o retorno mínimo que um projeto deve lucrar em uma base de ativos existente para satisfazer seus credores, proprietários e outros fornecedores de capital (SGROI et al., 2015); e funções de lucro (CASSIDY et al., 2012) que, pelo método de Regressões Parciais, é ajustada uma equação que considera a área basal, qualidade do fuste e quantidade de galhos de cada árvore (IVKOVIĆ; WU; KUMAR, 2010). Para cada característica, são atribuídos pesos econômicos e o lucro é obtido para cada indivíduo pela aplicação da Equação 1:

$$Pr = c + W_{SA}P_{SA} + W_{SS}P_{SS} + W_{BQ}P_{BQ} \quad (1)$$

Em que: Pr : lucro por árvore; W_{SA} : peso econômico da área seccional; W_{SS} : peso econômico da qualidade do fuste; W_{BQ} : peso econômico da ramificação; P_{SA} : valor da área seccional na idade de corte; P_{SS} : valor da qualidade do fuste na idade de corte; P_{BQ} : valor da ramificação na idade de corte.

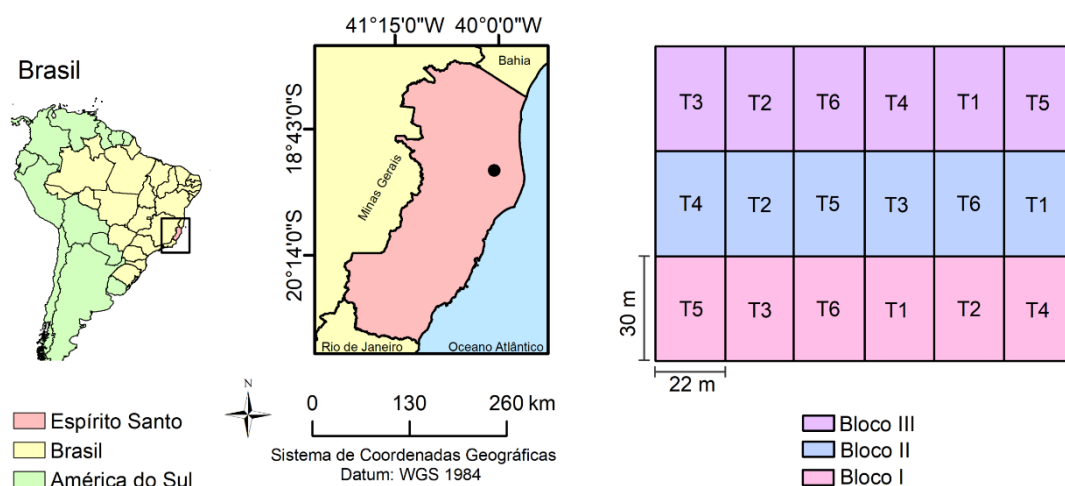
A aplicação dos critérios de análise econômica na área florestal é fundamental para se decidir qual o melhor projeto e/ou, alternativas de manejo a serem adotados (SILVA; FONTES, 2005), como realizado nos trabalhos de Dias et al. (2005) e Soares et al. (2003b), em que os projetos florestais com desbaste foram mais rentáveis economicamente que os projetos sem desbaste. Já no trabalho de Barboza et al. (2015), a prática do desbaste foi inviável pela baixa produtividade do plantio.

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização da área em estudo

A área de estudo faz parte do Projeto Biomás/Mata Atlântica, e está localizada no município de Sooretama, estado do Espírito Santo (Figura1). O Projeto Biomás é uma parceria da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) com início em 2010.

Figura 1 – Localização e esquema do experimento em estudo.



Em que: T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal.

O experimento foi instalado em uma área de 1,188 ha, nas coordenadas 19°12' 55\" Sul e 40°03' 09\" Oeste. A vegetação natural predominante é a Floresta Ombrófila Densa que abrange as áreas dos Tabuleiros Costeiros, e pela sua altitude, (até 50 m) é identificada como de Terras Baixas (GARBIN et al., 2017). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é tropical úmido (Am) (PEIXOTO; GENTRY, 1990), com precipitação pluviométrica média anual de 1.200 mm e a estação seca vai de maio a setembro. A temperatura média anual é de 23 °C (INCAPER, 2019). De acordo com a análise do solo realizada no local em 2012, o solo do Bloco I é caracterizado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico e abrupto A moderado com textura arenosa/média relevo suave ondulado (3 a 8% de declividade) (PAdx2). Já o solo do Bloco III é

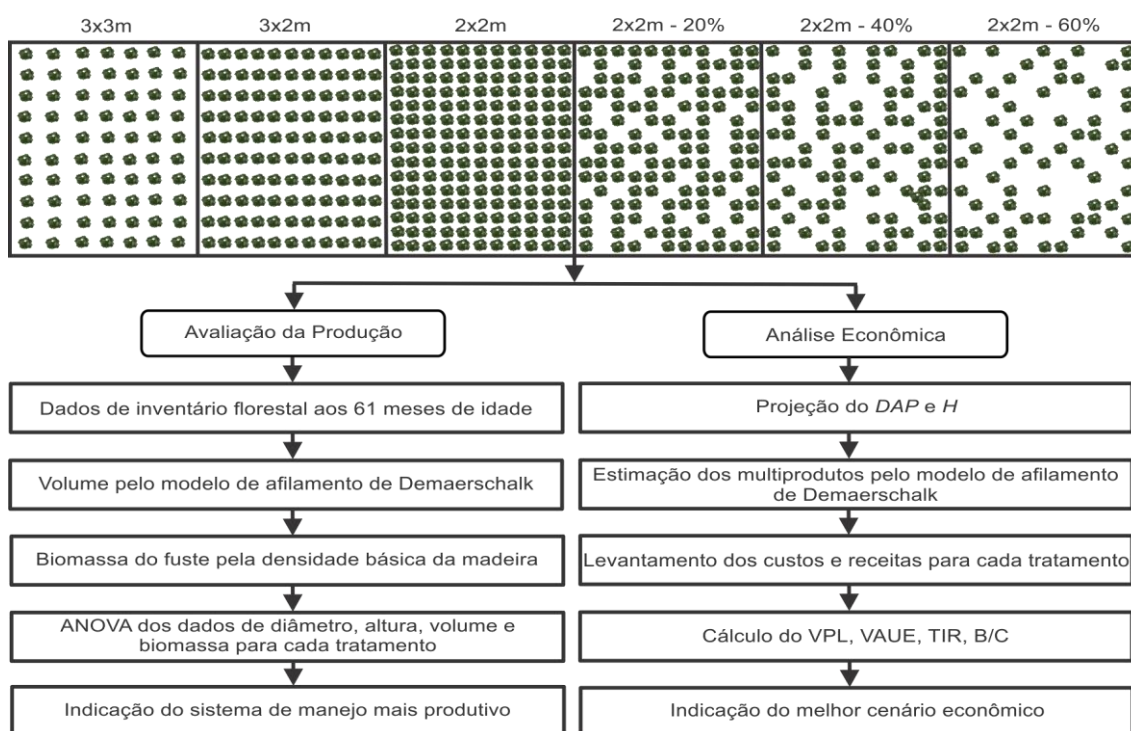
caracterizado como PAdx1 Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico e típico A moderado textura arenosa/média relevo plano (0 a 3% de declividade) e o Bloco II está localizado nos dois tipos de solo, com predominância do PAdx1. A análise dos solos encontrados no experimento é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Análise de solo da área do experimento realizada em 2012.

Perfil (cm)	pH		Al ⁺³	CA ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	SB	CTC pH a 7,0	P	C	V	m
	CaCl ₂	SMP										
	Cmol/dm ³						mg/ dm ³	g/ dm ³	%			
Solo PAdx1												
0-15	4,80	6,80	0,00	1,20	0,80	0,17	2,17	4,87	3,6	17,2	15	0
16-35	4,60	6,80	0,10	0,90	0,40	0,14	1,44	4,14	1,70	6,9	35	6
36-65	4,40	5,60	0,30	1,00	0,50	0,16	1,66	4,86	1,70	10,5	34	15
Solo PAdx2												
0-15	4,50	6,80	0,10	0,90	0,40	0,09	1,39	4,90	2,70	10,5	34	7
16-35	4,50	6,90	0,20	1,00	0,20	0,04	1,24	3,74	0,40	15,3	33	14
36-65	4,80	6,80	0,00	1,60	0,30	0,04	1,94	4,64	0,10	9,6	42	0

As mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* foram plantadas em maio de 2013. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso com seis tratamentos (Figura 1). Na primeira adubação, foi aplicado 0,11 t de calcário em toda a área. Também foi utilizado 20 g de nitrogênio, 30 g de fósforo e 20 g de potássio por cova. O controle de formigas e cupins foi realizado em todo o período do experimento e a capina foi realizada até o quarto ano do plantio. Os desbastes dos tratamentos foram realizados de forma seletiva, com uso de motosserra, aos 40 meses de idade, retirando as árvores menores, com bifurcações e atacada por pragas até atingir a porcentagem de desbaste da área basal de cada tratamento, baseado no inventário realizado aos 36 meses de idade. A Figura 2 apresenta as principais etapas metodológicas do presente estudo.

Figura 2 – Fluxograma das etapas metodológicas do estudo.



4.2. Avaliação da produção de povoamentos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos e pesos de desbastes

4.2.1. Obtenção dos dados de diâmetro, altura total, volume total e biomassa do fuste de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Os dados foram obtidos por meio do censo realizado aos 61 meses de idade, sendo medidos todos os diâmetros à 1,30 m do solo (*DAP*) com fita diamétrica e as alturas totais (*H*) com Hipsômetro Vertex de todas as árvores remanescentes do experimento. As árvores do perímetro de cada parcela foram desconsideradas nos cálculos para que o efeito de borda não interferisse nos resultados. As estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas de cada tratamento estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Estatísticas descritivas dos dados de diâmetro à 1,30 m do solo (*DAP*) e altura total (*H*) das árvores *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* medidas aos 61 meses.

Trat.	n	<i>DAP</i> (cm)				<i>H</i> (m)			
		Mín	Méd	Máx	CV%	Mín	Méd	Máx	CV%
T1	112	8,9	17,8	31,5	18,17	15,2	21,0	24,6	7,84
T2	165	9,9	14,4	20,8	16,42	13,6	18,9	25,0	7,26
T3	209	5,1	13,3	18,8	15,13	13,5	17,9	22,0	5,55
T4	168	9,1	14,1	22,5	13,58	15,3	18,4	23,7	9,15
T5	119	11,5	15,6	23,9	16,37	15,5	19,1	22,8	5,72
T6	110	9,5	15,0	28,3	16,14	16,5	19,3	23,1	6,84

Em que: Trat: tratamento; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal; n: número de árvores amostradas; Mín: Mínimo; Méd: Média; Máx: máximo; CV: coeficiente de variação.

Para estimar o volume total das árvores aos 61 meses de idade, foi utilizada a equação (1) de volume, obtida por meio da integração do modelo de afilamento de Demaerschalk (1972).

$$v = \frac{\pi}{40000} 10^{2\hat{\beta}_0} \cdot DAP^{2\hat{\beta}_1} \cdot H^{2\hat{\beta}_2} \left[\frac{(H - h_1)^{2\hat{\beta}_3+1} - (H - h_2)^{2\hat{\beta}_3+1}}{2\hat{\beta}_3 + 1} \right] \quad (1)$$

Em que: *v*: volume comercial ou total (m³); *DAP*: diâmetro a 1,3 metros do solo (cm); *H*: altura total da árvore (m); *h*₁: altura inferior da seção (m); *h*₂: altura superior seção (m); $\hat{\beta}_i$: estimativa dos parâmetros da equação.

Os valores das estimativas dos parâmetros utilizados foram obtidos por Barros (2019). Este modelo foi selecionado por apresentar melhor acurácia para estimação do diâmetro, por tratamento, dos plantios do presente estudo. Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes estimados e as estatísticas de desempenho.

A biomassa do fuste de cada tratamento foi obtida a partir da multiplicação da densidade básica da madeira e do volume individual das árvores (SCHUMACHER; WITSCHORECK; CALIL, 2011). No estudo de Barros (2019), não houve diferença significativa (*p*>0,05) na densidade básica da madeira aos 40 e 61 meses de idade dos tratamentos analisados. Assim, para o cálculo da biomassa, foi utilizada a densidade básica da madeira de 540 kg m⁻³ para a produção do desbaste e 550 kg m⁻³ para a produção aos 61 meses de idade para todos os tratamentos testados.

Tabela 3: Estimativas dos parâmetros e estatísticas de desempenho do modelo de Demaerschalk (1972) para cada tratamento analisado.

Trat.	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	R^2_{aj}	RQME(%)	V(%)
T1	0,4052*	0,5095*	-0,5175*	0,6430*	0,8484	10,95	0,21
T2	0,0901*	0,6643*	-0,4446*	0,6794*	0,9190	7,935	0,10
T3	0,0310 ^{ns}	0,6676*	-0,3294*	0,6109*	0,8727	9,65	0,12
T4	0,4576*	0,7521*	-0,7701*	0,6355*	0,8560	9,88	-0,02
T5	0,3499*	0,7656*	-0,6513*	0,5819*	0,8833	9,39	0,12
T6	0,3447*	0,7710*	-0,6695*	0,5981*	0,8858	9,09	0,18

Em que: Trat: tratamento; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal; $\hat{\beta}_j$: coeficientes da equação ajustada; * significativo a 5% pelo teste t; ^{ns}: não significativo a 5% pelo teste t; R^2_{aj} : coeficiente de determinação ajustado; RQME: raiz do quadrado médio do erro; V: Viés.

Fonte: Barros (2019).

4.2.2. Análise de variância das variáveis diâmetro, altura total, volume total e biomassa do fuste *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

As variáveis *DAP*, *H*, volume e biomassa do fuste, aos 61 meses de idade, foram analisadas, quanto a sua normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variância pelo teste de O'Neill e Mathews. O *DAP* e *H* foram analisados com base na média aritmética dos indivíduos aos 61 meses de idade de cada parcela e os dados de volume e biomassa foram calculados pela média das árvores da parcela e o total por hectare.

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) a 5% de significância. Quando houve diferença entre os tratamentos pelo teste F, as médias das variáveis foram submetidas ao teste Scott Knott a 5% de significância. As análises foram realizadas com o pacote "Expdes.pt" no software R versão 4.0.2 (R CORE TEAM, 2019).

4.3. Análise da viabilidade econômica das alternativas de manejo de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

4.3.1. Projeção da produção em volume dos fustes das árvores dos tratamentos analisados

Foram realizados inventários do tipo censo aos 27, 36, 48 e 61 meses de idade dos tratamentos, desconsiderando a bordadura de cada parcela. Foi realizado o teste de consistência nos dados de *DAP* e *H* para a aplicação dos modelos de projeção das variáveis. Assim, foi necessário a retirada de alguns dados das alturas medidas. As estatísticas descritivas dos dados mensurados e utilizados no ajuste dos modelos de projeção do *DAP* e *H* das árvores estão apresentadas na Tabela 4.

O ajuste dos modelos foi realizado para cada tratamento separadamente e, também, para uma única base de dados contendo todos os tratamentos, denominada no presente estudo como Completa. Os modelos analisados para projeção das variáveis *DAP* e *H* estão apresentados na Tabela 5.

Os modelos foram avaliados pelas estatísticas de avaliação do desempenho apresentadas na Tabela 6. Para a base de dados Completa, as estatísticas foram calculadas para cada tratamento separadamente. Também foi realizada a análise por meio do gráfico dos resíduos e construídos histogramas de frequência para as variáveis respostas em cada idade do censo, para avaliar se a tendência de crescimento foi captada pelo ajuste.

Após a seleção do modelo de maior acurácia, foi realizada a projeção do *DAP* e *H* das árvores da data da última medição (61 meses) para as idades 72, 84, 96 e 108 meses.

Tabela 4: Estatística descritiva dos dados de *DAP* e *H* das árvores *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, utilizadas para a projeção das variáveis, medidas aos 27, 36, 48 e 61 meses.

Idade	DAP (cm)					H (m)				
	n	Mín	Méd	Máx	CV(%)	n	Mín	Méd	Máx	CV(%)
T1										
27	105	5,8	10,6	14,1	10,93	30	12,1	13,5	15,3	5,98
36		7,4	13,4	17,2	10,94		14,4	16,1	17,7	5,30
48		7,8	15,1	20	12,33		15,0	18,3	20,6	7,16
61		8,9	17,9	31,5	18,32		16,6	20,5	24,6	9,29
T2										
27	126	6,5	9,5	12,1	12,42	30	11,8	13,5	15,4	6,21
36		7,9	11,7	15	11,96		13,2	15,7	17,9	8,98
48		8,4	12,9	18	13,85		14,0	17,3	19,8	7,82
61		9,9	14,5	20,4	16,06		16,5	19,5	25,0	8,32
T3										
27	176	3,4	8,5	11	13,24	30	10,6	13,8	15,6	9,92
36		3,7	10,3	13,2	12,70		12,7	15,8	17,8	7,55
48		4,4	11,6	15,5	14,09		13,5	16,6	18,0	6,03
61		5,1	13,4	18,8	15,18		13,5	17,9	22,0	10,24
T4										
27	92	6,7	8,7	11	11,61	30	10,5	13,1	14,6	7,96
36		8,0	11,1	14,6	13,03		13,3	15,1	17,8	7,62
48		8,8	12,2	16,5	13,99		14,5	16,9	19,1	7,63
61		10,2	14,1	19,1	14,12		15,3	19,6	23,7	9,38
T5										
27	108	7,0	9,3	12,4	10,09	30	11,6	14,3	15,9	7,36
36		9,3	11,6	14,9	9,60		13,9	15,8	17,5	6,55
48		9,6	13,0	18	12,06		15,0	17,7	21,6	8,69
61		11,5	15,7	23,9	16,92		17,0	19,2	22,8	8,19
T6										
27	96	5,0	8,9	11	11,85	30	12,0	13,5	15,8	6,27
36		6,2	11,1	14,5	12,77		13,3	16,0	17,7	6,87
48		7,0	12,8	18,9	14,10		13,8	17,2	19,3	8,19
61		9,5	15,1	28,3	16,79		16,7	19,6	23,1	9,58

Em que: Trat: tratamentos testados no experimento; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal; n: número de árvores-amostra de cada tratamento utilizada no ajuste dos modelos; Mín: Mínimo; Méd: Média; Máx: máximo; CV: coeficiente de variação.

Tabela 5: Modelos analisados para projeção do *DAP* e *H* de árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 72, 84 e 96 meses.

Autor	Modelo	
Pienaar e Shiver (M1)	$X_2 = X_1 \exp[-\hat{\beta}_0(I_2^{\hat{\beta}_1} - I_1^{\hat{\beta}_1})] + \varepsilon$	(2)
Chapman-Richards (M2)	$X_2 = X_1 \left(\frac{1 - \exp^{\hat{\beta}_1 I_2}}{1 - \exp^{\hat{\beta}_1 I_1}} \right)^{\hat{\beta}_0} + \varepsilon$	(3)
Mitscherlich (M3)	$X_2 = X_1 - \hat{\beta}_0(\hat{\beta}_1^{I_2} - \hat{\beta}_1^{I_1}) + \varepsilon$	(4)

Em que: X_1 : valor observado da variável de interesse em I_1 ; X_2 : valor estimado da variável de interesse em I_2 (cm); I_1 = idade inicial (meses); I_2 = Idade final (meses); $\hat{\beta}_i$ = parâmetros do modelo e; ε = erro aleatório.

Tabela 6: Estatísticas para avaliação do desempenho de modelos analisados para projeção do *DAP* e *H*.

Crítério Estatístico	Fórmula	
R^2 Kvalseth	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$	(5)
R^2 aj	$R^2_{aj} = R^2 - \left[\frac{p-1}{N-p} \right] (1 - R^2)$	(6)
RQME	$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$	(7)
RQME%	$RQME\% = \frac{RQME}{\bar{Y}} 100$	(8)
Viés	$V = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{n}$	(9)
Viés%	$V\% = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{\bar{Y}} 100$	(10)

Em que: R^2 : coeficiente de determinação p : número de parâmetros; N : número de observações; \hat{Y} : média aritmética da variável estimada; \bar{Y} : média aritmética da variável de dependente; y_i : valor observado da variável dependente; \hat{y}_i : valor estimado da variável dependente.

4.3.2. Quantificação dos multiprodutos gerados por tratamento.

A produção do desbaste dos tratamentos 2x2 m com desbaste de 20, 40 e 60% da área basal foi obtida com os dados do inventário aos 36 meses de idade. Para estimar os multiprodutos do desbaste e do o corte final de todos os tratamentos estudados aos 72, 84, 96 e 108 meses, foram consideradas toras de 2,2 metros de comprimento para todos os produtos selecionados (Tabela 7), assim como no trabalho de (SOARES et al., 2003b).

Tabela 7: Descrição das dimensões das toras dos multiprodutos selecionados para a destinação da produção.

Produtos	Comprimento (cm)	Diâmetro mínimo (cm)
Serraria	220	15
Mourões 1	220	14
Mourões 2	220	8
Lenha	220	2,5
Celulose	220	7

Fonte: Dados obtidos com produtores e madeireiras na região do município de Sooretama-ES. Pesquisa realizada entre 19 e 30 de outubro de 2020.

Para a produção do desbaste, foram considerados duas categorias de mourões e lenha. Na produção final, foram selecionados os multiprodutos serraria, a categoria de mourão 2 e lenha. A destinação da produção foi baseada na indicação da qualidade da madeira descrita por Barros (2019).

Para obtenção dos diâmetros nas extremidades das toras foi utilizada a Equação (11), obtida pelo rearranjo da forma original do ajuste do modelo de Demaerschalk (1972), utilizando os coeficientes apresentados na Tabela 2.

$$d_i = 10^{\hat{\beta}_0} \cdot DAP^{\hat{\beta}_1} \cdot H^{\hat{\beta}_2} (H - h_i)^{\hat{\beta}_3} \quad (11)$$

Em que: d_i : diâmetro na altura h_i (cm); DAP : diâmetro a 1,3 metros do solo (cm); H : altura total (m); h_i : altura superior da seção (m); $\hat{\beta}_j$: estimativas parâmetros do modelo.

A partir dos diâmetros estimados das extremidades das toras foi possível a classificação da tora entre os multiprodutos analisados. O volume comercial das toras foi obtido por meio da Equação 1.

4.3.3. Avaliação econômica das alternativas de manejo de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Na análise da viabilidade econômica dos tratamentos testados, foram considerados os custos de implantação, manejo, desbaste, colheita e transporte da produção de madeira de eucalipto disponibilizados pelo Centro de Desenvolvimento do Agronegócio (CEDAGRO-ES) de acordo com a Tabela 8.

Essa planilha considera a média dos custos de projetos florestais de eucalipto no estado do Espírito Santo. Os valores das taxas referente ao transporte da produção de madeira ao destino de cada multiproduto foram obtidos por meio do sitio eletrônico do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF, 2020).

Tabela 8: Planilha de custos para o espaçamento 2x2 m com 60% de desbaste considerando a colheita aos 84 meses de idade.

Itens de custo	Un.	Valor Un.	Período												Total	
			0º ano		1º ano		2º ano		3º ano		4º ao 9º ano		10º ano		Qtd.	Valor
			Qtd.	Valor	Qtd.	Valor	Qtd.	Valor	Qtd.	Valor	Qtd.	Valor	Qtd.	Valor		
Insumos																
Mudas (Plantio e Replântio)	un.	0,30	2880	864,00											2.880	864,00
Calcário	t	156,50	0,11	17,22											0,11	17,22
Fertilizantes																
Nitrogênio - N	Kg	4,29	50	214,50											50	214,50
Fósforo - P2O5	Kg	2,35	75	176,25											75	176,25
Potássio - K2O	Kg	2,34	50	117,00											50	117,00
Formicida	Kg	9,15	5	45,75	2	18,30	1	9,15	1	9,15	3	27,45	1	9,15	12	109,80
Cupinicida	Kg	145,37	0,2	29,07											0,2	29,07
Serviços																
Limpeza da área	d/H	45,00	10	450,00											10	450,00
Marcação de linhas	d/H	45,00	3	135,00											3	135,00
Marcação de covas	d/H	45,00	2,5	112,50											2,5	112,50
Coveamento	d/H	45,00	25	1125,00											25	1.125,00
Transporte interno de insumos	d/H	45,00	2	90,00											2	90,00
Calagem e Adubação na cova	d/H	45,00	7	315,00											7	315,00
Plantio e replântio	d/H	45,00	18	810,00											18	810,00
Combate a formigas	d/H	80,00	2,5	200,00	1,5	120,00	1,5	120,00	1,5	120,00	4	320,00	1,5	120,00	12,5	1.000,00
Capina manual de coroamento	d/H	45,00	20	900,00	2	90,00									22	990,00
Roçagem manual	d/H	45,00	6	270,00	6	270,00									12	540,00
Construção/Manutenção Aceiros	d/H	45,00	6	270,00	4	180,00	4	180,00	3,5	157,50	11	495,00			25	1.777,50
Corte e traçamento	d/H	75,00							10,5	997,50			10	750,00	10	1.477,50
Baldeio	d/H	75,00							13,5	1.282,50			12,5	937,50	12,5	1.845,00
Carregamento	d/H	75,00							15,5	1.472,50			14,5	1.087,50	14,5	2.117,50
Transporte da Colheita*	m³	17,00							143,67	2.442,39			131,03	2.227,58	274,7	2227,58
Taxa florestal										283,98				205,16		489,14
TOTAL	R\$			6.141,29		678,30		309,15		6.765,51		845,45		5.336,90		13.712,06

Fonte: Adaptado da planilha de custos da CEDAGRO de plantio do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com sistema de produção em áreas não mecanizáveis com baixa a média tecnologia

Os valores da quantidade aplicada de calcário, formicida, cupinicida, e as atividades de limpeza da área, combate a formigas, roçagem manual e construção de aceiros foram consideradas a mesma para todos os tratamentos por serem atividades realizadas em toda a área a ser plantada. As atividades de corte e traçamento, baldeio, carregamento, e transporte da colheita foram calculadas por quantidade de madeira produzida por tratamento extrapolada por hectare (m^3ha^{-1}). Para o cálculo do transporte, foi considerado a distância de 40 km de deslocamento. As demais atividades foram calculadas pelo número de covas de cada tratamento por hectare. Os custos de implantação, condução e manutenção do plantio foram baseados na planilha de custos do ano de 2013 e as atividades de colheita e transporte foram baseadas na planilha de custo do ano de 2019. Para a atividade de desbaste foi considerada a planilha de custo do ano de 2016, sendo o custo calculado com 25% a mais do valor do custo da colheita. Tal fato é atribuído a maior dificuldade na extração da madeira para não danificar as árvores remanescentes (TSUKAMOTO FILHO et al., 2003; BEZERRA et al., 2011).

Para o cálculo das receitas, foram considerados os valores de venda da madeira apresentados na Tabela 9. A receita foi obtida pela quantidade de cada produto para cada tratamento em hectares, multiplicada pelo valor de venda do respectivo multiproduto. Para a conversão de metro cúbico para metro estéreo, foi utilizado o fator de empilhamento de 1,5 (CAMPOS e LEITE, 2017).

Tabela 9: Valor de venda da madeira para multiprodutos

Produtos	Preço de venda
Serraria	R\$100,00 m^3
Mourões 1	R\$90,00 st
Mourões 2	R\$75,00 st
Lenha	R\$35,00 m^3
Celulose	R\$70,00 m^3

Fonte: Dados obtidos com produtores e madeireiras na região do município de Sooretama-ES. Pesquisa realizada entre 19 e 30 de outubro de 2020.

Os indicadores econômicos utilizados estão descritos na Tabela 10 (Rezende e Oliveira, 2013).

Tabela 10: Indicadores econômicos selecionados para análise econômica

Indicador Econômico	Fórmula
VPL	$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} \quad (12)$
VAUE	$VAUE = \frac{VPL \cdot i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad (13)$
TIR	$\sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+TIR)^j} - \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+TIR)^j} = 0 \quad (14)$
B/C	$B/C = \frac{\sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}} \quad (15)$

Em que: *VPL*: Valor Presente Líquido; R_j : receitas do período de tempo j considerado; C_j : custos do período de tempo j considerado; n : duração do projeto em anos ou períodos de tempo; j : período adotado; i : taxa anual de juros, expressa de forma decimal; *VAUE*: Valor Anual Uniforme Equivalente; *TIR*: Taxa Interna de Retorno; *B/C*: Relação Benefício Custo;

O valor da terra (Equação 16) foi obtido conforme Rezende et al., (2006) adaptado por Rocha, Sales e Cabacinha, (2015). O valor encontrado foi incorporado ao fluxo de caixa, apresentado como custo anual de cada período considerado no projeto.

$$VT = Vh_a * i \quad (16)$$

Em que: *VT*: valor da terra; Vh_a : valor do hectare do local da implantação do projeto; i : taxa anual de juros.

Foi utilizada a taxa de desconto de 6% a.a. por representar a taxa de juros do financiamento bancário para projetos de custeio para agricultores (MAPA, 2020). Para maior confiabilidade na análise econômica dos projetos considerados, foi realizada a análise de sensibilidade variando os custos, as receitas e a produção de madeira entre a margem de -20 e +20% com intervalos de 5%. Mantendo os demais valores constantes, foi considerado a variação de todos os custos de implantação, condução, colheita e transporte da produção. Para a variação da receita, foi considerada o aumento e redução do valor de venda dos multiprodutos do corte final e do desbaste (quando este presente no plantio). Para a análise de sensibilidade da produção, assim como na variação da receita, foi considerado o aumento e redução da produção de cada multiproduto considerado em cada tratamento. Também foi considerado o corte final dos plantios aos 72, 96 e 108 meses de idade, além da variação taxa de

desconto. Para essa análise, foi utilizado os valores anuais da taxa Selic dos anos de 2013 a 2020 (mês base: novembro), com os valores disponíveis no site do Banco Central do Brasil (BCB, 2021).

Para comparar a proposta do presente estudo com os projetos florestais comumente adotados pelos produtores de eucalipto da região, também foram calculados os indicadores econômicos para plantios de eucalipto com espaçamento 3x3 m e 3x2 m destinando a produção apenas para a celulose aos 72 e 84 meses de idade.

Também foi calculado o ponto de equilíbrio da produção de acordo a equação (17) (Peinado e Graeml, 2007), que representa a quantidade de madeira (m^3ha^{-1}) necessária a ser produzida para suprir os custos de implantação do projeto.

$$PE = \frac{CF}{PV_u - CV_u} \quad (17)$$

Em que: *PE*: quantidade a ser produzida (m^3ha^{-1}); Custos Fixos (R\$) (implantação e condução); *PV_u*: preço de venda de 1 m^3 de madeira para celulose (R\$); *CV_u*: Custo Variável (R\$) (corte, colheita e transporte).

5. RESULTADOS

5.1. Análise de variância e teste de médias das variáveis diâmetro, altura total, volume e biomassa do fuste de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*

Ao analisar os resultados da ANOVA, os tratamentos testados foram significativos para todas as variáveis testadas, indicando que existe pelo menos uma diferença entre as médias ($p < 0,05$) das variáveis *DAP*, *H*, volume total e biomassa do fuste nos tratamentos analisados (Tabela 11). O fator de variação Bloco não foi significativo ($p > 0,05$) apenas para a variável *DAP*, indicando que as variáveis *H*, volume total e biomassa do fuste foram sensíveis às características do local.

Para o *DAP*, o maior valor médio por árvore ($p < 0,05$) foi apresentado pelo espaçamento 3x3 m, que também apresentou o maior do desvio padrão entre os tratamentos testados (Tabela 12). O espaçamento 2x2 m com desbaste de 40%, apresentou a segunda maior média se diferenciando dos demais tratamentos ($p < 0,05$). Os tratamentos de espaçamento 3x2 m, 2x2 m, 2x2 m com desbaste de 20 e 60% não apresentaram diferença estatística entre si, sendo os que apresentaram as menores médias para o *DAP*. O espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% apresentou o menor desvio padrão para essa variável.

Para a variável *H*, o espaçamento 3x3 m também apresentou maior média entre as árvores (Tabela 12), se diferenciando dos demais tratamentos que não apresentaram diferença significativa entre si ($p > 0,05$). O maior desvio padrão foi apresentado pelo espaçamento 2x2 m com 40% de desbaste e o menor pelo espaçamento 2x2 m.

Tabela 11: Análise de variância das variáveis *DAP*, *H*, volume e biomassa do fuste (árvore e hectare) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

FV	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
DAP (cm)					
Tratamento	5	37,27	7,45	10,50	0,000991*
Bloco	2	2,94	1,47	2,08	0,176151 ^{ns}
Resíduo	10	7,09	0,70		
Total	17	47,31			
Altura total (m)					
Tratamento	5	16,82	3,36	7,04	0,0045838*
Bloco	2	9,06	4,53	9,48	0,0049141*
Resíduo	10	4,78	0,47		
Total	17	30,66			
Volume individual (m ³)					
Tratamento	5	0,0097	0,0019	10,20	0,0011132*
Bloco	2	0,0024	0,0012	6,27	0,0171657*
Resíduo	10	0,0019	0,0001		
Total	17	0,0140			
Biomassa do fuste (kg)					
Tratamento	5	2.954,7	590,94	10,20	0,0011132*
Bloco	2	726,6	363,32	6,27	0,0171657*
Resíduo	10	579,2	57,92		
Total	17	4.260,5			
Volume (m ³ ha ⁻¹)					
Tratamento	5	17.832,8	3.566,6	20,41	0,0000591*
Bloco	2	2.897,1	14448,6	8,29	0,0075304*
Resíduo	10	1.746,8	174,7		
Total	17	22.476,7			
Biomassa do fuste (kg ha ⁻¹)					
Tratamento	5	5.098.891.526	1.019.778.305	19,59	0,0000710*
Bloco	2	865.589.002	432.794.501	8,31	0,0074733*
Resíduo	10	520.640.094	52.064.009		
Total	17	6.485.120.621			

Em que: FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: estatística F calculada; p: p-valor; *: significativo para 5%; ^{ns}: não significativo a 5%.

Tabela 12: Resultado do teste de Scott-Knott para diâmetro e altura das árvores.

Trat.	DAP (cm)		Trat.	H (m)	
	Média ± Dp	Grupos		Média ± Dp	Grupos
T1	17,81 ± 3,23	a	T1	20,99 ± 1,64	a
T5	15,90 ± 2,55	b	T6	19,21 ± 1,31	b
T6	15,09 ± 2,41	c	T5	19,21 ± 1,09	b
T2	14,52 ± 2,36	c	T2	18,94 ± 1,37	b
T4	14,15 ± 1,91	c	T4	18,32 ± 1,68	b
T3	13,31 ± 2,00	c	T3	17,93 ± 0,99	b

Em que: Trat.: tratamentos testados no experimento; Dp: Desvio padrão; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal.

Para o volume total e biomassa do fuste por árvore, o espaçamento 3x3 m apresentou maior média se diferenciando estatisticamente dos demais tratamentos ($p < 0,05$) (Tabela 13). O espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% obteve a segunda maior média para o volume total e biomassa do fuste por árvore, apresentando diferença estatística em relação aos demais tratamentos ($p < 0,05$), sendo o tratamento que apresentou o maior desvio padrão. Os tratamentos de espaçamento 2x2 m, 3x2 m, 2x2 m com desbaste de 20 e 60% de desbaste não apresentaram diferença estatística entre si ($p < 0,05$). O tratamento 2x2 m com 20% de desbaste apresentou o menor valor para o desvio padrão para as variáveis volume total e biomassa do fuste por árvore.

Tabela 13: Resultados do teste de médias de Scott-Knott para a média do volume e biomassa por parcela, volume total e biomassa do fuste individual e por hectare

Volume (m ³)			Volume (m ³ ha ⁻¹)		
Trat.	Médias ± Dp	Grupos	Trat.	Médias ± Dp	Grupos
T1	0,1896 ± 0,0441	a	T6	210,8205 ± 26,5253	a
T5	0,1631 ± 0,0477	b	T5	210,8038 ± 25,5125	a
T6	0,1469 ± 0,0436	c	T4	176,4078 ± 18,4542	b
T2	0,1358 ± 0,0397	c	T3	148,3469 ± 8,6483	c
T4	0,1294 ± 0,0298	c	T1	138,1881 ± 21,6523	c
T3	0,1197 ± 0,0309	c	T2	136,9624 ± 9,1277	c
Biomassa do fuste (kg)			Biomassa do fuste (Mg ha ⁻¹)		
T1	104,27 ± 24,25	a	T6	114,89 ± 14,46	a
T5	89,73 ± 26,24	b	T5	114,88 ± 13,90	a
T6	80,79 ± 23,96	c	T4	96,14 ± 10,06	b
T2	74,68 ± 21,82	c	T3	81,59 ± 4,76	c
T4	71,16 ± 16,41	c	T1	76,00 ± 11,91	c
T3	65,82 ± 17,02	c	T2	75,32 ± 5,02	c

Em que: Trat.: tratamentos testados no experimento; Dp: Desvio padrão da média; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal.

Considerando o volume total e a biomassa do fuste por hectare (Tabela 13), as maiores médias foram obtidas no espaçamento 2x2 m com 60 e 40% de desbaste, sendo esses estatisticamente iguais ($p > 0,05$), sendo o espaçamento 2x2 m com 60% de desbaste o que apresentou o maior valor para o desvio padrão entre todos os tratamentos testados. O tratamento 2x2 m com 20% de desbaste obteve a segunda maior média, se diferenciando estatisticamente dos demais tratamentos ($p < 0,05$). O espaçamento 3x3 m, 2x2 m e 3x2 m não

apresentaram diferença estatística entre si ($p>0,05$), sendo os que apresentaram as menores produções em volume e biomassa total por hectare. O espaçamento 2x2 m apresentou o menor valor do desvio padrão para as duas variáveis.

5.2. Projeção dos diâmetros das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

As estatísticas de avaliação desempenho do ajuste dos modelos de projeção do *DAP* estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Estimativa dos parâmetros e estatísticas para avaliar o desempenho do ajuste dos modelos de projeção do *DAP* das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	R ² aj	RQME(%)	V(%)
T1					
M1	6,7072*	-0,3716*	0,8085	7,57	-0,12
M2	0,7704*	-0,0095 ^{ns}	0,8073	8,00	-0,34
M3	26,6112*	0,9843*	0,8010	7,60	-0,16
T2					
M1	16,3917*	-0,9198*	0,8248	7,09	0,07
M2	1,0534*	-0,0319*	0,8203	7,00	0,27
M3	17,9222*	0,9673*	0,8202	7,23	0,05
T3					
M1	5,4950*	-0,3130*	0,8188	7,62	0,08
M2	0,6554*	-0,0091*	0,8190	8,00	0,35
M3	17,3311*	0,9832*	0,8179	7,57	0,04
T4					
M1	30,8219*	-1,1189*	0,7671	8,25	0,15
M2	1,2684*	-0,0355*	0,7609	8,00	0,61
M3	18,6125*	0,9689*	0,7637	8,20	0,08
T5					
M1	6,5045*	-0,1776 ^{ns}	0,6961	10,37	0,15
M2	0,4795*	0,0125 ^{ns}	0,7034	10,00	0,06
M3	45,3105 ^{ns}	0,9949*	0,6995	10,25	0,04
T6					
M1	6,7712*	-0,1850 ^{ns}	0,8024	8,78	0,06
M2	0,7061*	-0,0053 ^{ns}	0,8024	9,00	0,25
M3	25,3001*	0,9882*	0,7992	8,84	0,04
Completa					
M1	6,4539*	-0,4105*	0,8003	9,12	0,08
M2	0,7482*	-0,0118*	0,7992	9,00	0,31
M3	20,0418*	0,9821*	0,7948	9,29	0,06

Em que: T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal; M1: Pienaar e Shiver; M2: Chapman-Richards; M3: Mitscherlich; R²aj: coeficiente de determinação ajustado; RQME: Raiz do quadrado médio do erro; V: Viés.

De maneira geral, os três modelos testados apresentaram bons resultados nas estatísticas de desempenho, com valores satisfatórios para o R^2_{aj} e o RQME% e V% (Tabela 14), sendo possível a aplicação de todos os modelos para a projeção dos *DAP* dos tratamentos analisados.

Considerando os ajustes por tratamento, o M1 apresentou os maiores valores para o R^2_{aj} , exceto para o espaçamento 2x2 m e 2x2 m com 40% de desbaste, sendo que o M2 obteve valores maiores para esses tratamentos. O M3 foi o que apresentou menores valores de V%, com exceção ao espaçamento 3x3 m. Avaliando o RQME%, o M1 apresentou os melhores resultados para o espaçamento 3x3 m e 2x2 m com 60% de desbaste. No espaçamento 3x2 m, 2x2 m com 20 e 40% desbaste, o M2 obteve maior acurácia. Para o espaçamento 2x2 m, o menor valor de RQME foi obtido pelo M3.

Ao comparar as estatísticas calculadas para cada tratamento com ajuste partir da base de dados Completa com as estatísticas obtidas a partir dos ajustes dos tratamentos separadamente (Tabela 15), o R^2_{aj} apresenta valores próximos entre os modelos analisados.

Para o RQME%, houve aumento em todos os tratamentos testados, sendo que no espaçamento 3x3 m, observou-se maior diferença se comparado com os demais tratamentos. No V% também houve aumento de seu valor quando foi ajustado com a base de dados Completa, sendo a maior diferença observada no espaçamento 2x2 m com 40% de desbaste.

O espaçamento 2x2 m com 40% desbaste apresentou as piores estatísticas de ajuste, seguido pelo espaçamento 2x2 m com 20% de desbaste. Os demais tratamentos apresentaram valores próximos.

Considerando as estatísticas de desempenho, para o espaçamento 3x3 m, o M1 foi o mais acurado, apresentando maior valor de R^2_{aj} e os menores resultados para o RQME% e V%. Para o espaçamento 3x2 m, apesar do M1 apresentar menor valor no RQME%, o M2 demonstra valores melhores para o R^2_{aj} e V%. Para o espaçamento 2x2 m, o M3 apresenta menores valores de RQME% e V%, contudo, apresenta também um valor menor de R^2_{aj} comparado com os outros modelos testados. Para o 2x2 m com desbaste de 20%, o M3 apresentou menores valores de RQME% e V% e o segundo maior valor para o R^2_{aj} .

Tabela 15: Estatísticas de avaliação do desempenho dos ajustes dos modelos de projeção do *DAP* das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* para a base de dados Completa calculada para cada tratamento.

Modelo	Estatísticas		
	R ² aj	RQME%	Viés%
T1			
M1	0,6973	10,69	0,54
M2	0,6964	11,00	1,70
M3	0,6974	11,16	1,16
T2			
M1	0,8211	7,48	-0,48
M2	0,8182	8,00	-1,74
M3	0,8074	7,59	-0,42
T3			
M1	0,8156	7,70	-0,18
M2	0,8164	8,00	-0,70
M3	0,8151	7,94	-0,54
T4			
M1	0,7712	8,48	-0,02
M2	0,7691	9,00	-0,07
M3	0,7627	8,41	-0,22
T5			
M1	0,6928	10,49	0,45
M2	0,6935	10,00	1,64
M3	0,6981	10,48	0,49
T6			
M1	0,8012	8,93	0,45
M2	0,8016	9,00	1,67
M3	0,8008	8,96	0,34

Em que: T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal; M1: Pienaar e Shiver; M2: Chapman-Richards; M3: Mitscherlich; R²aj: coeficiente de determinação ajustado; RQME: Raiz do quadrado médio do erro.

Para o espaçamento 2x2 m com desbaste de 40%, o ajuste dos três modelos testados apresentou coeficientes não significativos ($p < 0,05$). Ao analisar o ajuste para a base de dados Completa e comparando as estatísticas de ajuste calculadas separadamente, o M3 apresentou o maior valor para R²aj e o segundo menor valor para o RQME%. Apesar do V% apresentar o maior valor, a diferença é de apenas 0,04%, não interferindo significativamente no valor da projeção dos diâmetros. O M3 foi o único que apresentou todos os parâmetros do modelo significativos ($p < 0,05$) para o espaçamento 2x2 m com 60% de desbaste com ajuste da base de dados separadamente. Ao comparar as

estatísticas da base de dados Completa com o ajuste por tratamento, o ajuste por tratamento apresentou melhores estatísticas.

Na análise da distribuição dos resíduos (Figura 3), percebe-se estimativas não tendenciosas, com distribuição semelhante entre os modelos, apesar dos valores de V% do M2 (Tabela 14) apresentarem maiores valores. O intervalo de distribuição dos erros está entre -30% a +30%, sendo que a maior concentração dos pontos está na faixa de -20% a +20%. O M3 apresenta tendência em superestimar os menores *DAP* nos ajustes das bases de dados Completa e dos tratamentos com espaçamentos 3x3 m e 2x2 m.

Nos histogramas de frequência das estimativas dos modelos para cada idade (Figura 4), é possível perceber que os modelos captaram a tendência de crescimento dos tratamentos, pois os *DAPs* estimados acompanham a distribuição das frequências dos *DAP* observados.

Assim, para a projeção do *DAP*, foi utilizado o modelo de Pienaar e Shiver com a equação ajustada por tratamento para os espaçamentos 3x3 m e 3x2 m. Para os tratamentos com espaçamento 2x2 m sem e com desbaste de 20% e 60% da área basal, o modelo utilizado foi o de Mitscherlich ajustado por tratamento. Já para o espaçamento 2x2 m com desbaste de 40%, foi usado o modelo de Mitscherlich ajustado com a base de dados completa.

Figura 3: Gráficos da distribuição de resíduos das projeções dos diâmetros das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* para cada tratamento.

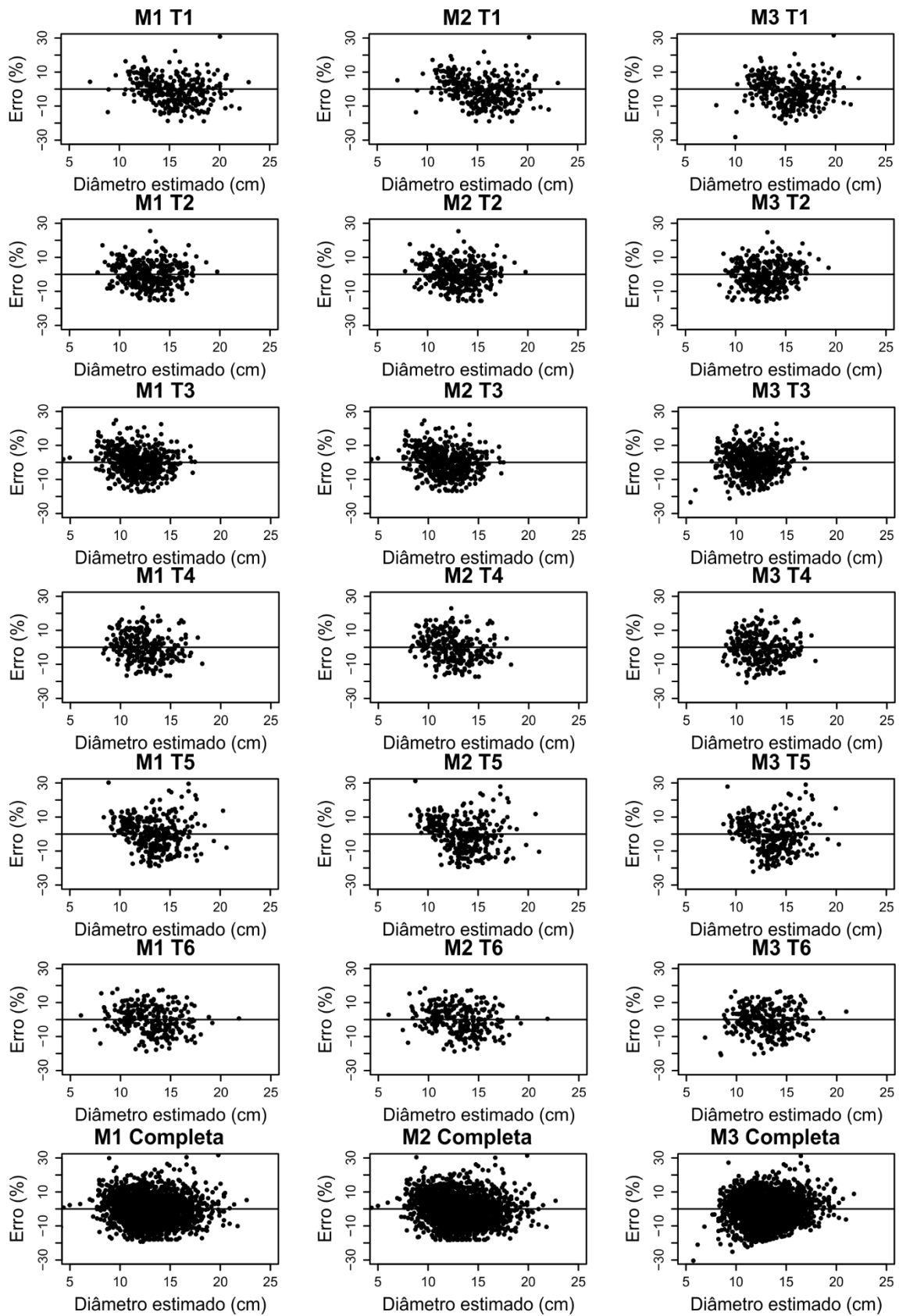
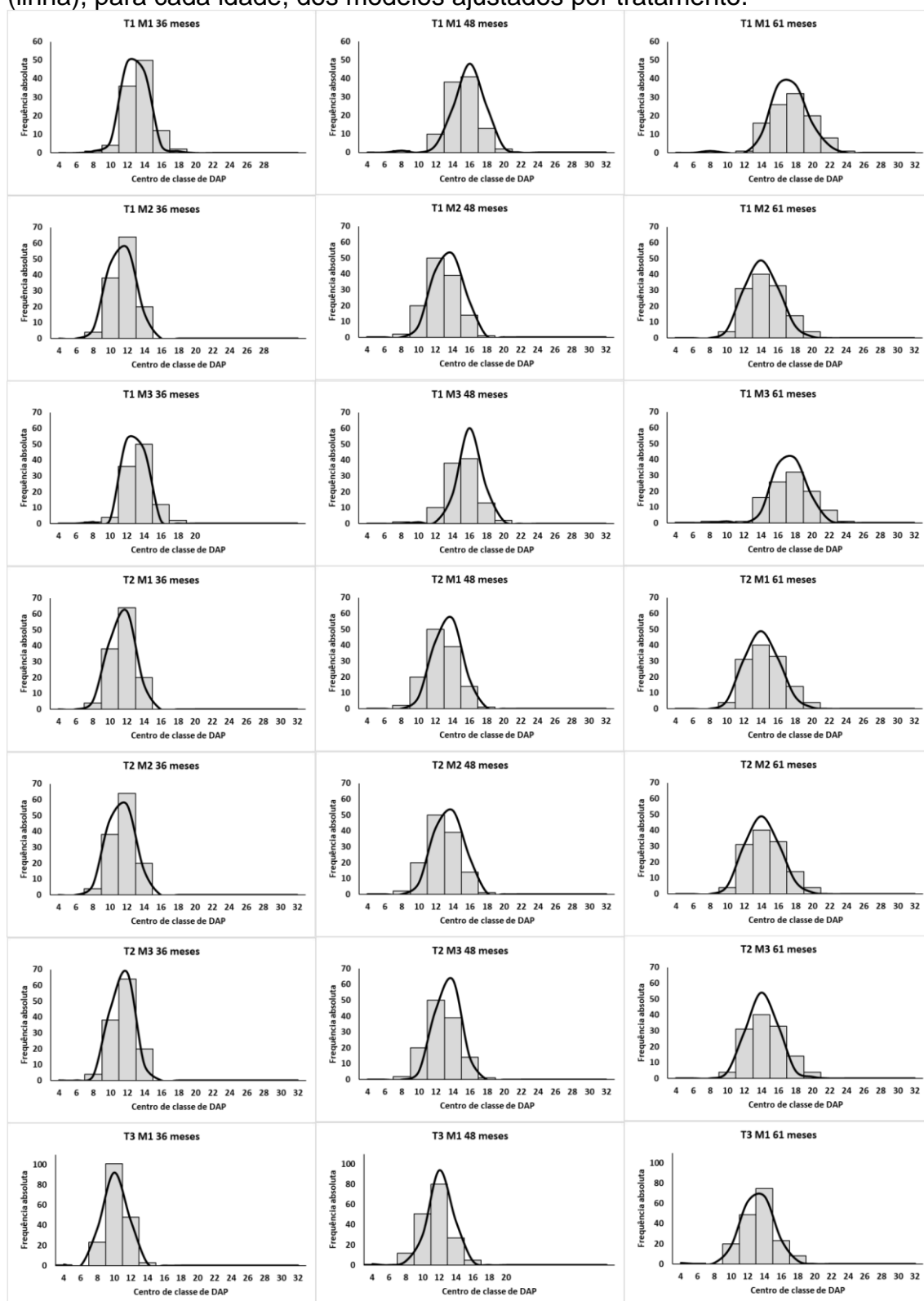
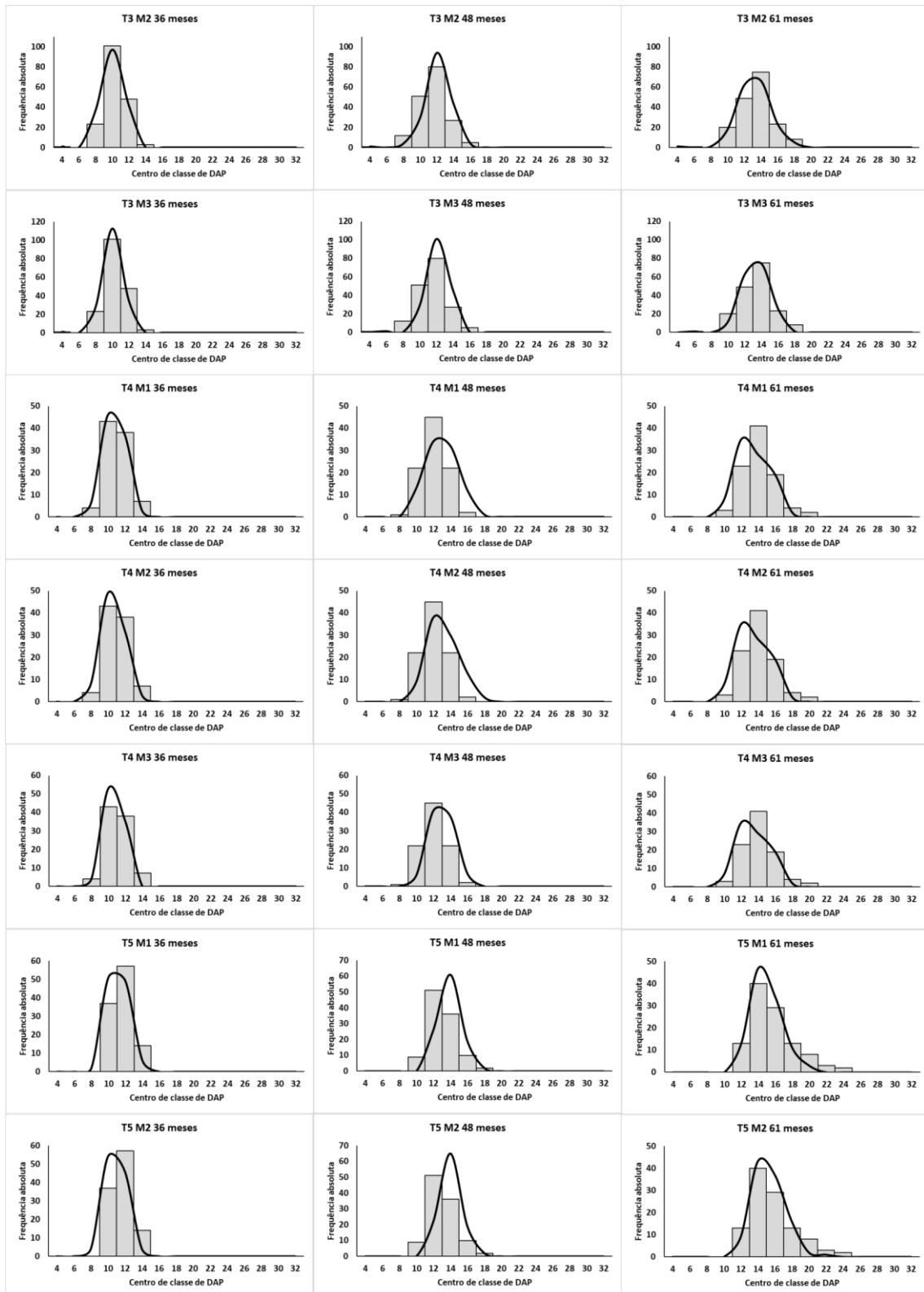


Figura 4: Histogramas de frequência dos *DAP* observados (barras) e estimados (linha), para cada idade, dos modelos ajustados por tratamento.



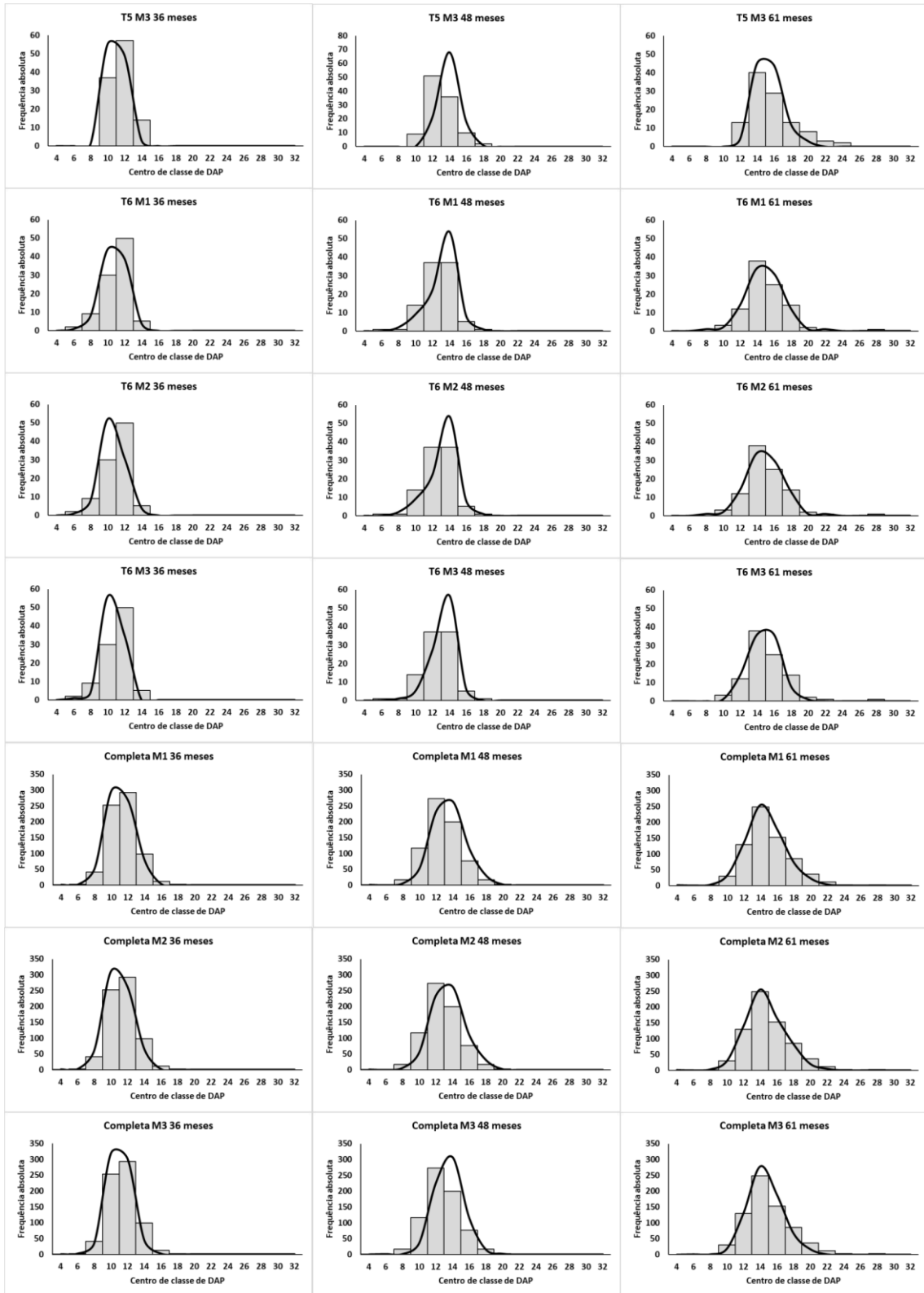
Continua...

Continuação...



Continua...

Continuação...



5.3. Projeção das alturas das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Analisando a Tabela 16 para os modelos de projeção da *H*, apenas o M3 apresentou parâmetros significativos ($p < 0,05$) em todos os tratamentos testados e na base de dados Completa. O M1 apresentou pelo menos uma estimativa de parâmetro não significativa ($p < 0,05$) para os tratamentos testados. O M2 apresentou todos os parâmetros significativos ($p < 0,05$) apenas no espaçamento 2x2 m. O M3 apresentou melhor acurácia com maior valor de R^2_{aj} e menores valores de RQME% e V% para todos os tratamentos considerados e para a base de dados Completa.

Ao comparar as estatísticas calculadas para cada tratamento com ajuste partir da base de dados Completa e as estatísticas obtidas a partir dos ajustes dos tratamentos separadamente (Tabela 17), o R^2_{aj} e o RQME% apresentam valores próximos entre os modelos testados. Observa-se que houve tendência de aumento dos valores de RQME% e V% nas estimativas de altura total ao ajustar os modelos com a base de dados Completa. Os maiores valores do V% foram observados no M2.

O espaçamento 2x2 m apresentou os menores valores para o R^2_{aj} , comparando com os demais tratamentos. Os maiores valores de RQME% são observados no espaçamento 2x2 m com 60% de desbaste. Os espaçamentos 3x2 m e 2x2 m com 60% de desbaste foram os que apresentaram maiores valores de V%. O modelo que apresentou maior acurácia foi o M3 para todos os tratamentos com o ajuste para cada tratamento separadamente.

Verifica-se que a acurácia das projeções de *H* foi menor que as do *DAP* e que os modelos de menor acurácia para a projeção do *DAP* não se repetiram na projeção da *H* das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Tabela 16: Estimativa dos parâmetros e estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho do ajuste dos modelos de projeção da H das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Modelo	Coeficientes		Estatísticas		
	β_0	β_1	R ² aj	RQME%	Viés%
T1					
M1	5,9009*	-0,4510 ^{ns}	0,7257	6,60	0,07
M2	0,7420*	-0,0177 ^{ns}	0,7255	7,00	0,19
M3	23,8709*	0,9776*	0,7360	6,42	0,03
T2					
M1	5,0655 ^{ns}	-0,1525 ^{ns}	0,5944	8,11	0,14
M2	0,4694*	-0,0032 ^{ns}	0,5982	8,00	0,39
M3	22,7507*	0,9856*	0,6156	7,78	0,04
T3					
M1	31,9530 ^{ns}	-1,3550*	0,4943	7,19	0,17
M2	0,8426*	-0,0442*	0,4932	7,00	0,48
M3	19,0772*	0,9502*	0,5005	6,97	0,09
T4					
M1	5,3668 ^{ns}	-0,1629 ^{ns}	0,5942	8,35	0,10
M2	0,5607*	-0,0074 ^{ns}	0,5942	8,00	0,29
M3	22,9795*	0,9833*	0,6165	7,97	0,00
T5					
M1	7,1868 ^{ns}	-0,0607 ^{ns}	0,6100	7,14	0,07
M2	0,3780*	-0,0037 ^{ns}	0,6092	7,00	0,21
M3	17,4582*	0,9832*	0,6243	6,86	-0,01
T6					
M1	5,5965 ^{ns}	-0,1245 ^{ns}	0,5320	8,57	0,17
M2	0,4103*	0,0031 ^{ns}	0,5419	9,00	0,49
M3	23,9705*	0,9872*	0,5531	8,29	0,08
Completa					
M1	4,2658*	-0,3126*	0,5980	7,94	0,12
M2	0,5248*	-0,0104 ^{ns}	0,5995	8,00	0,34
M3	19,7246*	0,9796*	0,6108	7,68	0,04

Em que: T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal; M1: modelo de Pienaar e Shiver; M2: Modelo de Chapman-Richards; M3: Modelo de Mitscherlich; R²aj: coeficiente de determinação ajustado; RQME%: Raiz do quadrado médio do erro, em porcentagem; Viés%: e viés em porcentagem.

Analisando a distribuição gráfica dos erros para projeção das H (Figura 5), percebe-se estimativas não tendenciosas, com distribuição semelhante entre os modelos, apesar dos valores de V% do M2 (Tabela 16) apresentarem maiores valores. O intervalo de distribuição dos erros está entre -30% a +30%, sendo que a maior concentração dos pontos está na faixa de -20% a +20%. Percebe-se entre os modelos uma tendência de subestimar os menores valores das alturas totais projetadas.

Tabela 17: Estatísticas de avaliação do desempenho dos ajustes dos modelos de projeção da altura total das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* para a base de dados Completa calculada para cada tratamento.

Modelo	Estatísticas		
	R ² aj	RQME%	Viés%
T1			
M1	0,7334	6,96	0,89
M2	0,7343	6,99	2,34
M3	0,7394	6,83	0,89
T2			
M1	0,5883	8,14	0,34
M2	0,5913	8,14	0,94
M3	0,6053	7,82	0,23
T3			
M1	0,5083	8,01	-0,99
M2	0,5092	8,06	-2,85
M3	0,5156	7,90	-1,10
T4			
M1	0,5900	8,51	0,67
M2	0,5942	8,50	1,88
M3	0,6103	8,08	0,45
T5			
M1	0,5915	7,41	-0,61
M2	0,5971	7,39	-1,68
M3	0,6180	7,06	-0,60
T6			
M1	0,5248	8,59	0,38
M2	0,5269	8,61	1,04
M3	0,5392	8,33	0,29

Em que: T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal; M1: modelo de Pienaar e Shiver; M2: Modelo de Chapman-Richards; M3: Modelo de Mitscherlich; R²aj: coeficiente de determinação ajustado; RQME%: Raiz do quadrado médio do erro, em porcentagem; Viés%: e viés em porcentagem.

Nos histogramas de frequência para cada idade dos ajustes dos modelos (Figura 6), é possível perceber que os modelos captaram a tendência de crescimento dos tratamentos, pois as *H* estimadas acompanham a disposição das frequências das *H* observadas.

Assim, para todos os tratamentos analisados foi selecionado o modelo M3 de Mitscherlich ajustado por tratamento para a projeção das *H* das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Figura 5: Gráficos da distribuição de resíduos da projeção das H de todos os tratamentos.

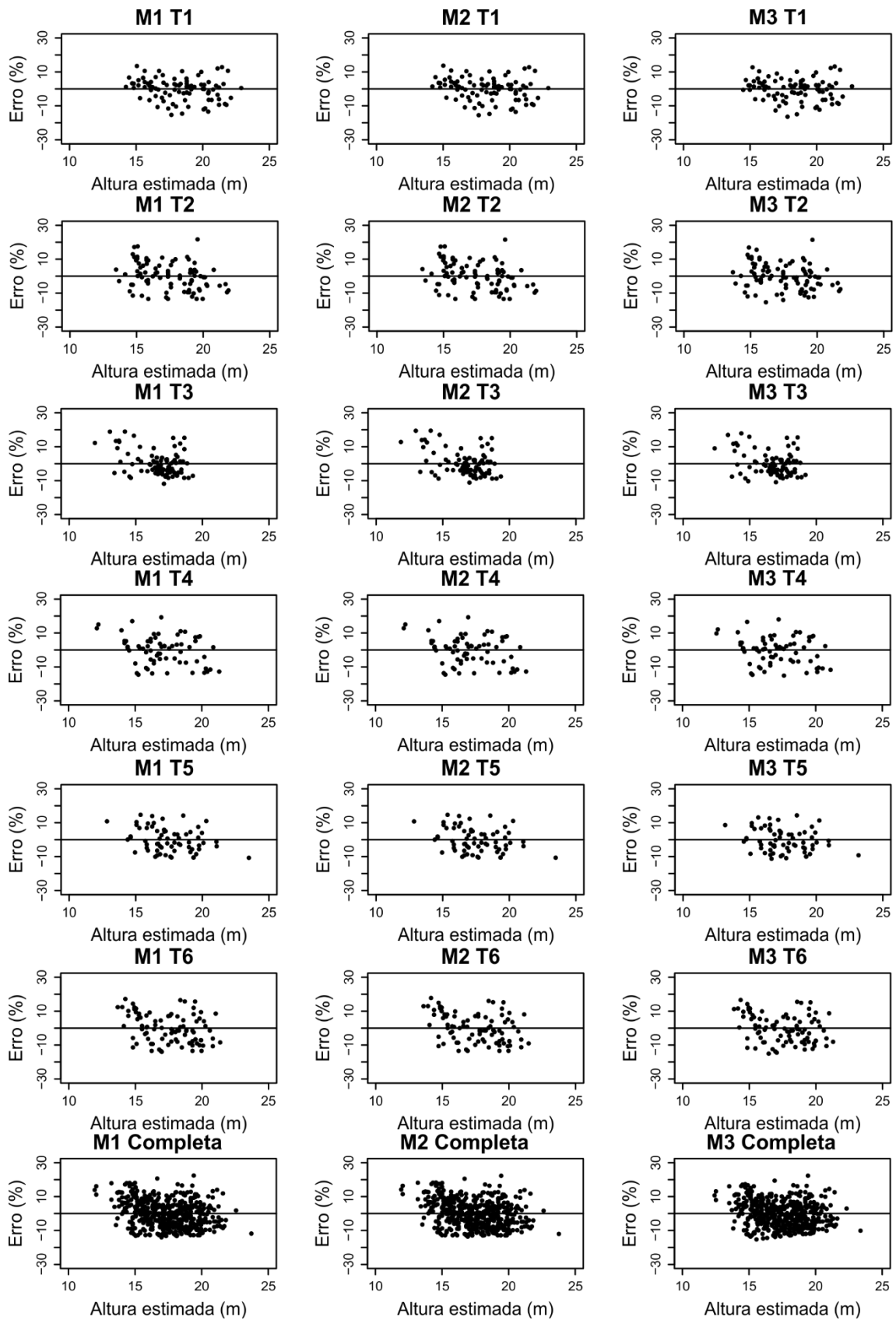
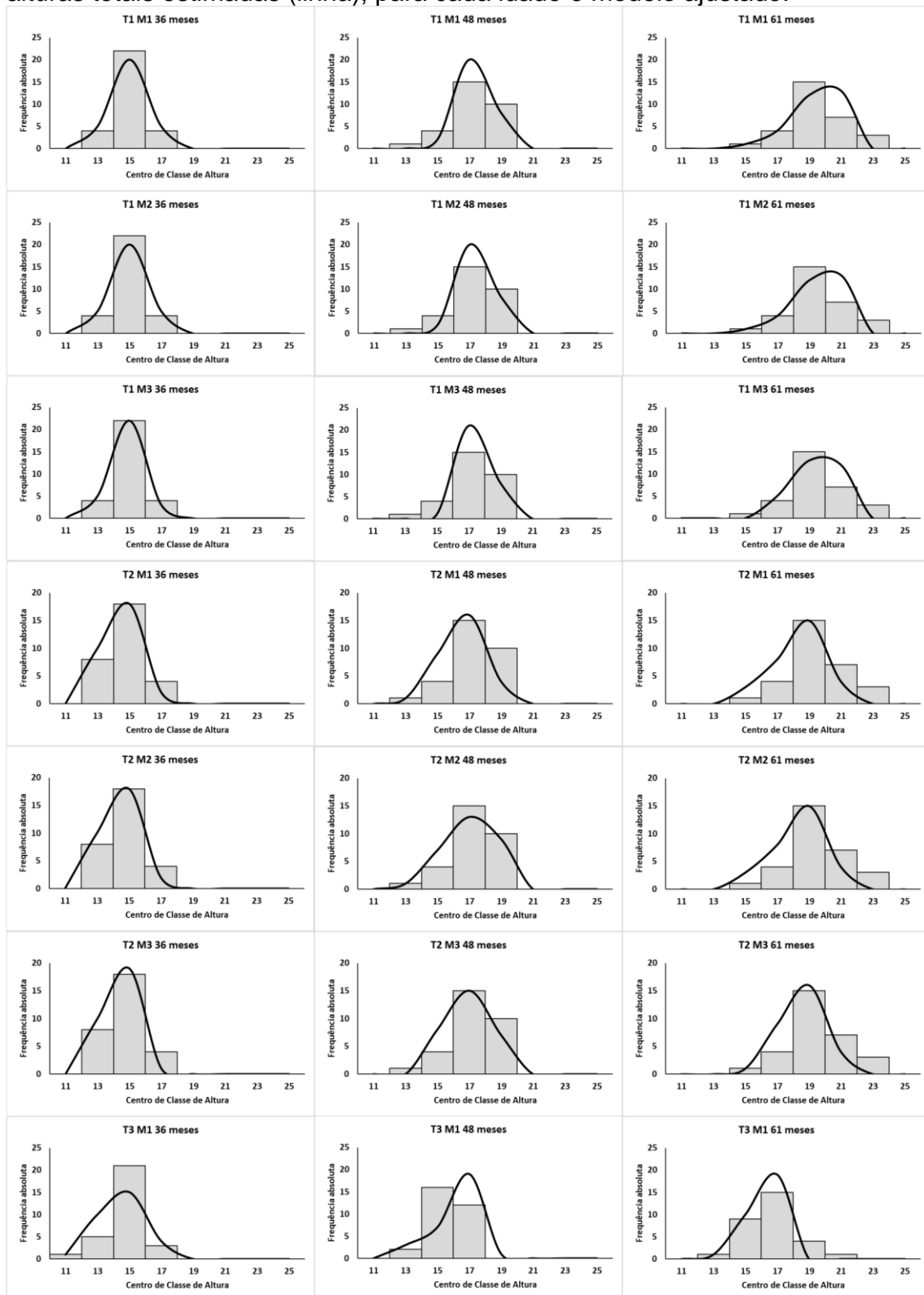
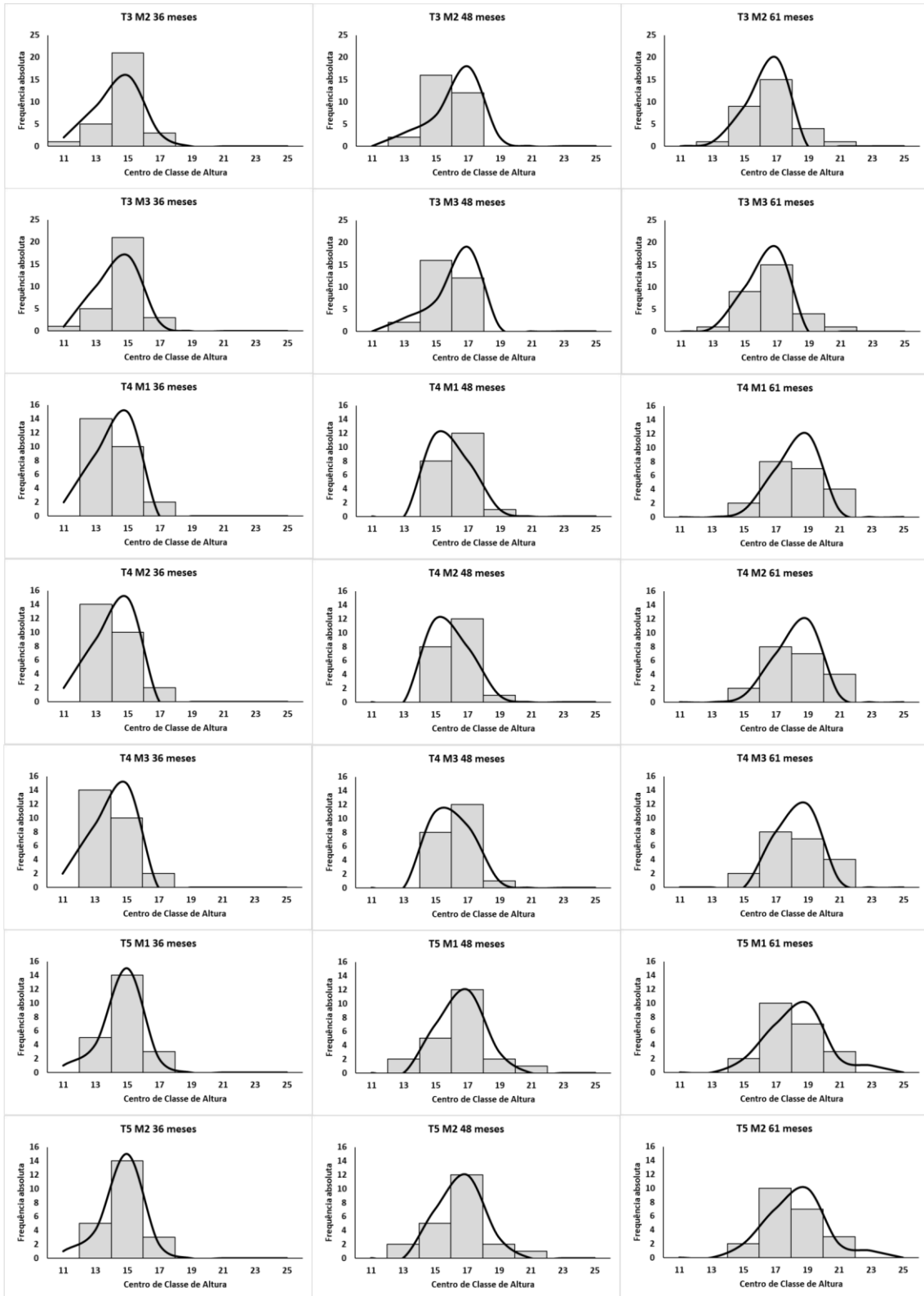


Figura 6: Histogramas de frequência das alturas totais observadas (barras) e alturas totais estimadas (linha), para cada idade e modelo ajustado.



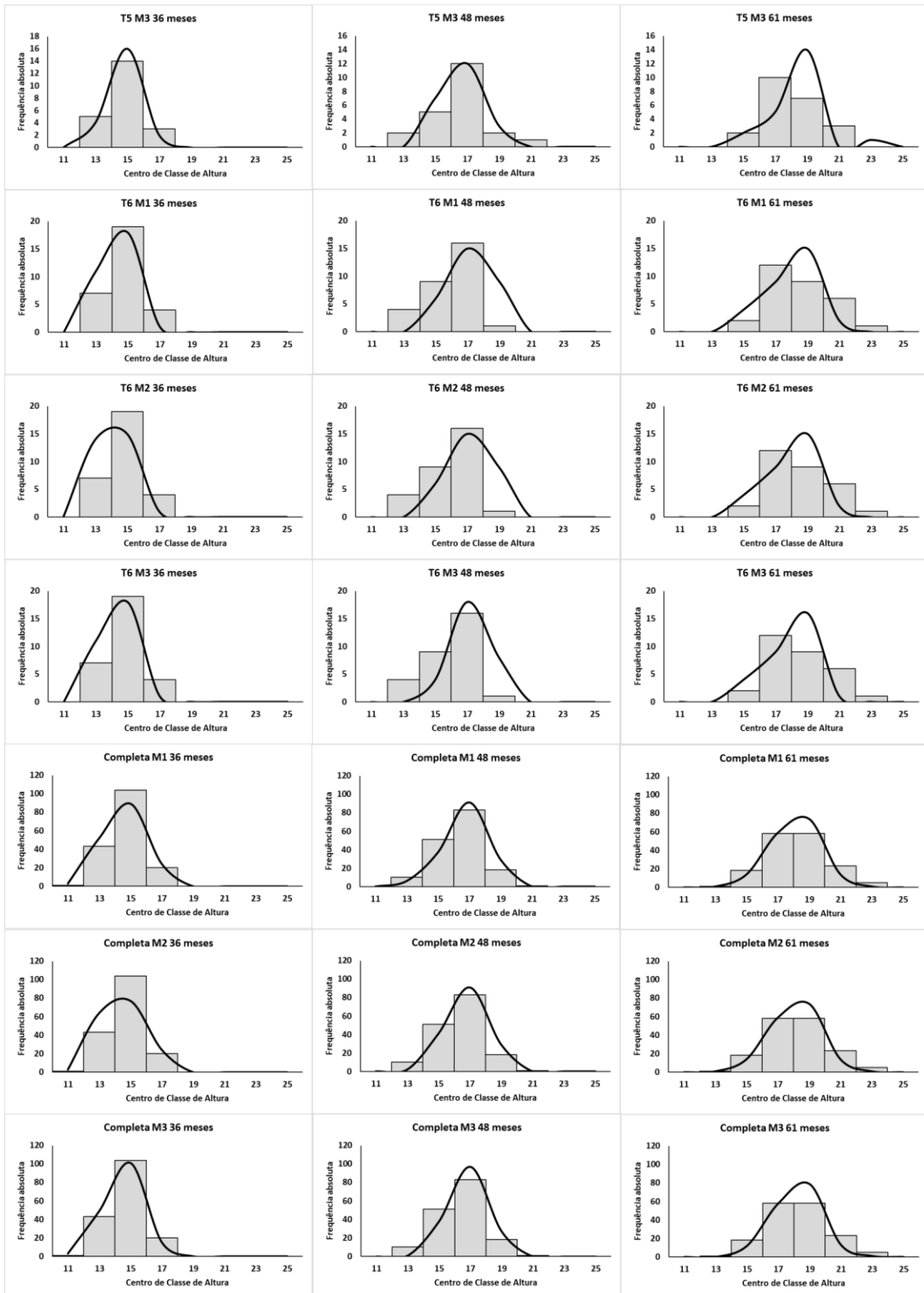
Continua...

Continuação...



Continua...

Continuação...



5.4. Projeção da produção de madeira e multiprodutos para os tratamentos analisados

A produção total estimada dos multiprodutos considerando a produção do desbaste e do corte final projetado para as idades de 72, 84, 96 e 108 meses de idade estão apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18: Produção total estimada de multiprodutos (desbastes e produção remanescente projetada) aos 72, 84, 96 e 108 meses de idade para cada tratamento.

Trat.	Serraria		Mourão 1		Mourão 2		Lenha		Total	
	un.	m ³ ha ⁻¹	un.	m ³ ha ⁻¹	un.	m ³ ha ⁻¹	un.	m ³ ha ⁻¹	un.	m ³ ha ⁻¹
72 meses										
T1	3.056	106,1684	-	-	4.167	59,5418	1.302	2,2308	8.524	167,9409
T2	1.597	61,0108	-	-	6.528	104,2001	2.508	4,6069	10.633	169,8178
T3	548	21,0311	-	-	7.600	134,7502	3.006	7,0658	11.154	162,8471
T4	1.802	61,7867	14	0,4512	9.751	145,5847	3.868	10,2218	15.434	218,0444
T5	1.859	63,6675	21	0,6456	11.111	159,1423	5.534	16,9041	18.647	240,3594
T6	1.645	55,5732	36	1,0967	12.500	180,2926	6.681	19,3709	20.862	256,3334
84 meses										
T1	3.854	134,4887	-	-	4.401	50,8598	1.458	2,1421	9.714	187,4906
T2	2.353	92,0279	-	-	6.682	102,5902	2.438	3,8039	11.474	198,4220
T3	947	36,1540	-	-	7.550	132,2530	2.885	6,3331	11.382	174,7402
T4	2.564	85,5331	14	0,4512	9.623	137,3504	4.074	10,2287	16.275	233,5633
T5	2.386	82,7738	21	0,6456	10.990	154,3608	5.442	16,7455	18.960	258,4191
T6	2.479	83,8815	36	1,0967	12.236	170,6149	6.560	19,1110	21.311	274,7041
96 meses										
T1	4.497	156,9061	-	-	4.297	45,0496	1.181	1,6434	9.974	203,5992
T2	3.164	125,4343	-	-	6.543	95,4093	2.276	3,5451	11.983	224,3887
T3	1.246	47,9701	-	-	7.543	129,8387	2.749	5,5383	11.538	183,3472
T4	3.063	102,3903	14	0,4512	9.815	134,8936	3.803	9,7542	16.695	247,4893
T5	2.728	104,3192	21	0,6456	1.1019	151,4160	5.449	16,6070	19.338	276,8813
T6	3.376	113,6856	36	1,0967	1.1902	159,1332	6.460	18,8139	21.774	292,7294
108 meses										
T1	5.043	175,8630	-	-	3.984	39,1627	1.311	1,6935	10.339	216,7192
T2	2.639	105,8014	-	-	7.338	135,0870	2.569	3,9560	12.546	244,8444
T3	1.553	59,7263	-	-	7.386	138,7798	2.707	5,2090	11.645	203,7150
T4	2.685	85,4066	14	0,4512	10.406	144,2098	4.103	10,0682	17.208	240,1359
T5	2.991	120,6747	21	0,6456	11.040	150,0733	5.420	16,4968	19.594	291,7838
T6	3.967	134,8121	36	1,0967	11.674	153,9601	6.410	18,7677	22.087	308,6366

Em que: Trat. Tratamentos; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com 20% de desbaste da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com 40% de desbaste da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com 60% de desbaste da área basal; m³ha⁻¹: metro cúbico por hectare; un.: quantidade de toras.

A maior produção de toras destinadas para a serraria é obtida pelo espaçamento 3x3 m e a menor no espaçamento 2x2 m. Na produção dos mourões de maior dimensão (mourões 1), o espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% apresentou maior produção e a menor produção foi apresentada no espaçamento 2x2 m com desbaste de 20%. Para produção de mourões de menor dimensão (mourões 2), a maior quantidade é observada no espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% e a menor produção é apresentada pelo espaçamento 3x3 m.

O tratamento com espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% produziu a maior quantidade de madeira para lenha e a menor quantidade foi produzida no espaçamento 3x3 m. Considerando a produção de cada tratamento ao longo das projeções de 72, 84, 96 e 108 meses de idade, a produção de madeira destinada para a serraria aumenta enquanto que a destinada para mourões e lenha diminui.

Ao comparar a produção em metros cúbicos do corte final, o espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% apresentou o maior valor e o tratamento com espaçamento 2x2 m apresentou a menor produção (Tabela 18). Considerando os tratamentos sem desbaste, o espaçamento 3x2 m apresentou maior produção final. Essas tendências foram semelhantes nas quatro idades de planejamento.

5.5. Avaliação econômica dos tratamentos analisados

Para a análise da viabilidade econômica dos tratamentos aos 84 meses de idade com a taxa de desconto do Empréstimo Bancário de 6% a.a. (Tabela 19), todos os tratamentos testados apresentaram inviabilidade econômica.

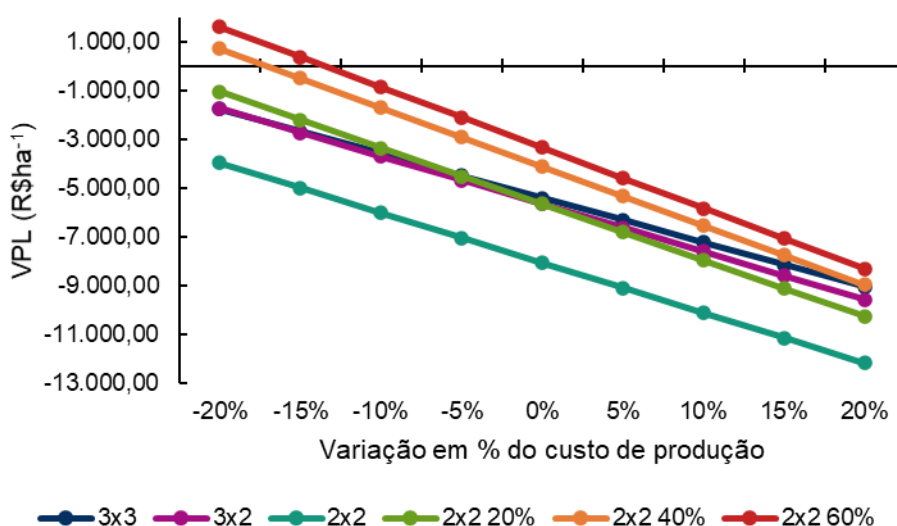
Tabela 19: Resultados dos indicadores econômicos com corte final aos 84 meses de idade com a taxa de desconto do Empréstimo Bancário de 6 % a.a.

Indicador	Tratamentos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
VPL (R\$ ha ⁻¹)	-5.404,14	-5.654,09	-8.069,39	-5.657,63	-4.134,12	-3.345,80
VAUE (R\$ ha ⁻¹)	-968,07	-1.012,84	-1.445,51	-1.013,48	-740,57	-599,35
TIR (%)	-0,06	-0,05	-0,09	-0,06	-0,04	-0,03
B/C	0,84	0,86	0,75	0,88	0,93	0,96

Em que: T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal; VPL: Valor Presente Líquido; VAUE: Valor Anual Uniforme Equivalente; TIR: Taxa Interna de Retorno; B/C: Relação Benefício Custo

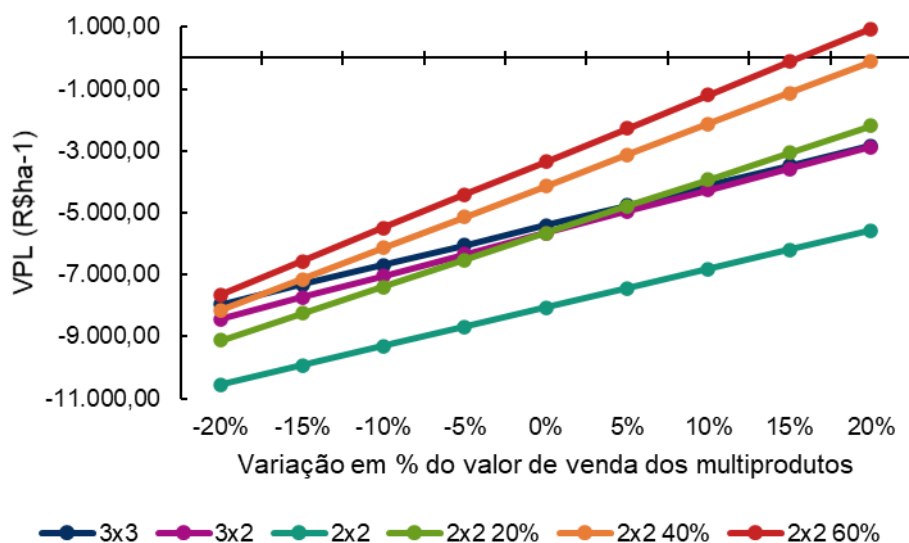
Ao considerar a variação dos custos de produção aos 84 meses de idade, com a taxa de desconto de 6% a.a. (Figura 7), apenas os espaçamentos 2x2 m com desbaste de 40 e 60% foram viáveis economicamente com a redução de 20% dos custos totais dos plantios, apresentando retorno econômico de R\$ 700,73 e R\$ 1.617,16 por hectare respectivamente. O espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% também foi viável economicamente com redução de 15% dos custos, apresentando retorno de R\$ 376,42 por hectare. Os demais cenários testados foram inviáveis economicamente.

Figura 7: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação dos custos de produção aos 84 meses de idade do corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.



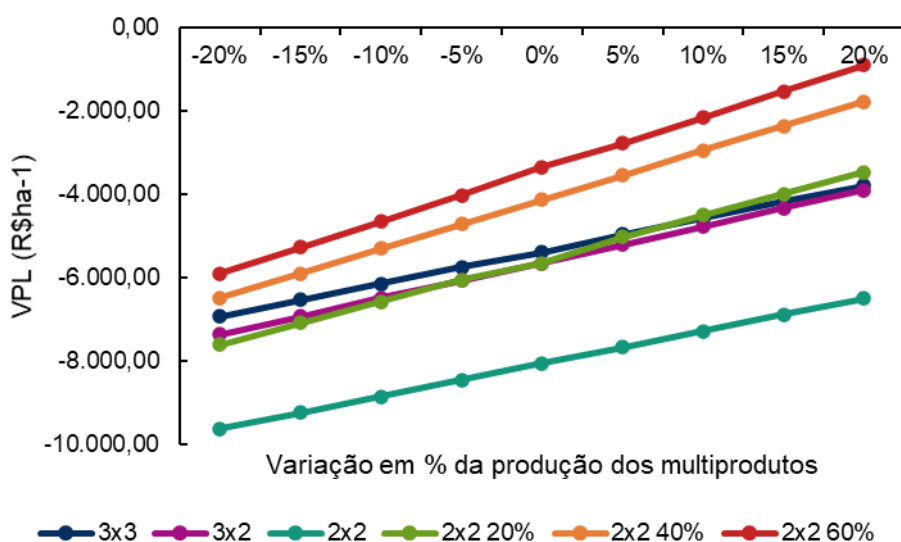
Para a variação dos preços de venda dos multiprodutos aos 84 meses de idade com a taxa de desconto de 6% a.a. (Figura 8), apenas no cenário com aumento do preço dos multiprodutos em 20% houve viabilidade econômica, apresentando retorno econômico de R\$ 948,00 por hectare no espaçamento 2x2 m com desbaste de 60%. Para demais cenários de variação de preços considerados, os tratamentos analisados foram inviáveis economicamente.

Figura 8: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação dos valores de venda dos multiprodutos aos 84 meses de idade do corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.



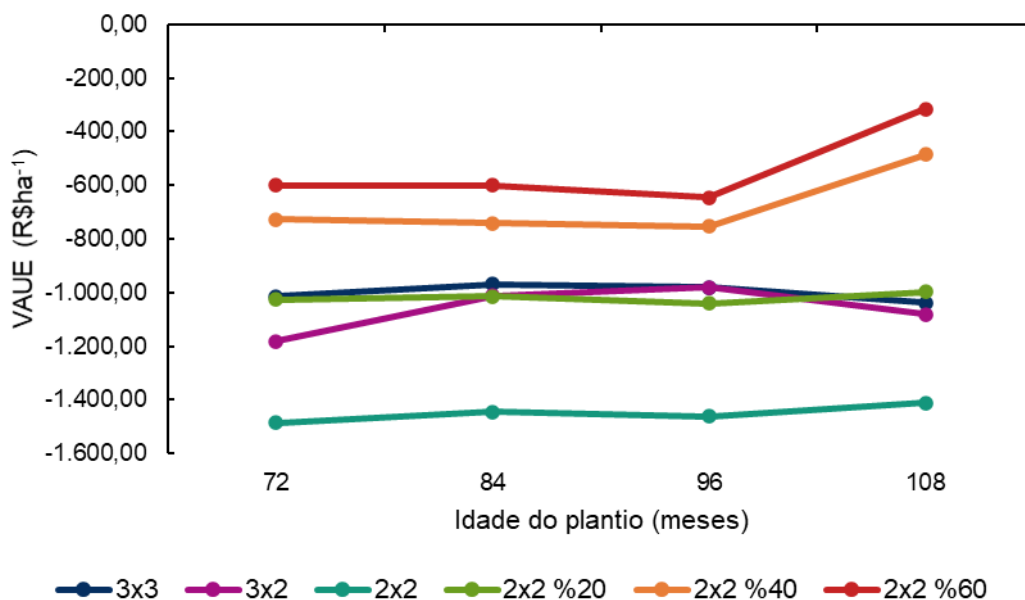
Ao variar a produção de multiprodutos pelos tratamentos testados aos 84 meses de idade, com a taxa de desconto de 6% a.a. (Figura 9), nenhum dos tratamentos testados apresentaram viabilidade econômica para os cenários considerados.

Figura 9: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação da produção dos multiprodutos aos 84 meses de idade do corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.



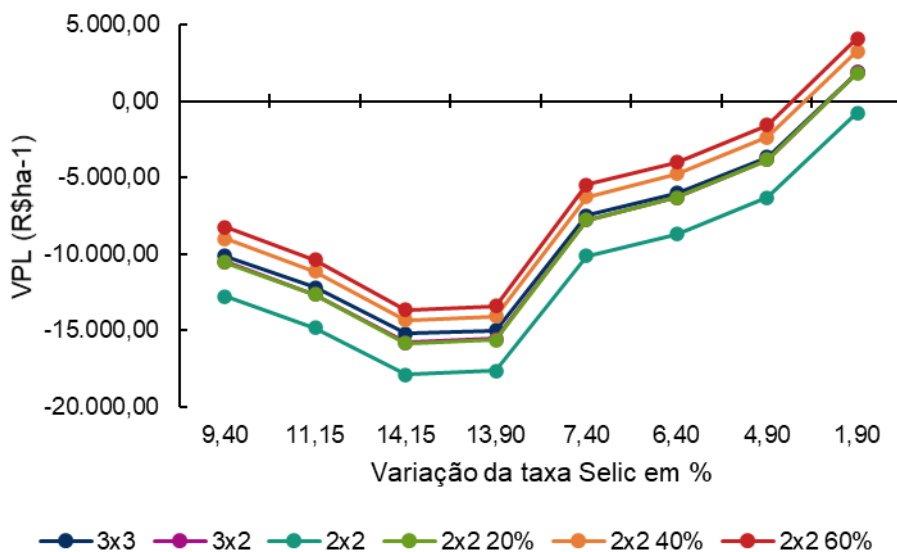
Na variação do corte final dos plantios, nenhum dos tratamentos apresentou viabilidade econômica aos 72, 84, 96 e 108 meses de idade com a taxa de desconto de 6% a.a. (Figura 10). Dos 72 aos 96 meses de idade, todos os tratamentos apresentam estabilidade no valor do VAUE (R\$ ha⁻¹) exceto o espaçamento 3x2 m que apresenta redução do prejuízo aos 84 meses de idade. Comparando a colheita aos 108 meses de idade, os espaçamentos 2x2 m com desbaste de 40 e 60% apresentam redução do prejuízo, já os demais tratamentos permanecem com a tendência de estabilidade no valor do VAUE (R\$ ha⁻¹), sendo que o espaçamento 2x2 m apresenta o pior cenário dentre todos os tratamentos testados em todas as idades consideradas.

Figura 10: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação das idades de corte final aos 72, 84 e 96 meses de idade com a taxa de desconto de 6% a.a.



Na análise da variação da taxa de desconto considerando colheita aos 84 meses de idade (Figura 11), verifica-se que para a taxa Selic de 1,9% do ano de 2020, apenas o espaçamento 2x2 m foi inviável economicamente.

Figura 11: Gráfico da análise de sensibilidade para a variação da taxa de desconto considerando os valores da Taxa Selic do 2013 a 2020, com o corte final aos 84 meses de idade.



Para os espaçamentos 3x3 m, 3x2 m, 2x2 m com desbaste de 20, 40 e 60% o retorno monetário por hectare foi de R\$ 1.894,29, R\$ 1.904,93, R\$ 1.847,44, R\$ 3.278,24 e R\$ 4.114,97 respectivamente, sendo o espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% o projeto mais atrativo. Para as demais taxas de desconto consideradas, todos os tratamentos foram inviáveis economicamente.

Ao realizar a análise da viabilidade econômica dos espaçamentos 3x3 m e 3x2 m com destinação da produção para celulose com corte final aos 72 e 84 meses de idade, a uma taxa de desconto de 6% a.a., (Tabela 21) todos os cenários considerados foram inviáveis economicamente.

Tabela 20: Análise da venda da produção para a celulose com a taxa de desconto 6% a.a.

Trat.	Idade	un.	m ³	VPL(R\$)	TIR(%)	B/C	VAUE(R\$)	PE(m ³)
T1	72	8.047	166,6286	-2.588,34	-0,09	0,83	-452,77	215,8952
	84	8.707	186,3982	-1.441,22	-0,03	0,86	-217,58	224,7598
T2	72	9.136	169,2544	-3.637,89	-0,11	0,77	-636,37	236,4394
	84	9.954	191,3121	-3.367,86	-0,08	0,82	-508,44	255,1030

Em que: Trat.: Tratamentos testados; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; VPL: Valor Presente Líquido; TIR: Taxa Interna de Retorno; B/C: Razão Benefício Custo; VAUE: Valor Anual Uniforme Equivalente; PE: Ponto de Equilíbrio da produção; m³: metro cúbico; un.: quantidade de toras.

Comparando os resultados do VAUE dos tratamentos testados (Tabela 19) para multiprodutos com os cenários considerados para a celulose (Tabela

20), apenas o espaçamento 3x3 m com corte final aos 84 meses apresentou menor prejuízo ao destinar a produção para a celulose. Para todos os outros cenários, o menor prejuízo é apresentado no espaçamento 2x2 m com desbaste de 60%.

6. DISCUSSÃO

6.1. Produção em diâmetro, altura total, volume total e biomassa do fuste de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*

A quantificação da produção de um povoamento florestal é de grande importância para subsidiar a melhor alternativa de manejo para produtores rurais. Para isso, ao analisar estas alternativas, é importante verificar a diferença entre o diâmetro, altura total, volume e biomassa produzidas.

Neste trabalho, o *DAP* médio das árvores aos 61 meses teve um maior crescimento no espaçamento 3x3 m, seguido pelo espaçamento 2x2 m com desbaste de 40%. Isso indica que o crescimento em diâmetro tende a ser maior em áreas com maior espaço vital para os indivíduos se desenvolverem, devido a menor competição. Entretanto, os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa entre eles ($p>0,05$). Vários estudos notaram esse padrão de maior crescimento em plantios de maior área útil como demonstrado nos trabalhos de Henskens et al. (2001), Medhurst, Beadle e Neilsen, (2001), Trevisan et al. (2007), Castro et al. (2011), Dobner Júnior, Higa e Urbano, (2012), Ferreira et al. (2014), Silveira, Reiner e Smaniotto, (2014), Nagar et al. (2015), Acuna et al. (2017), Lopes et al. (2017); Medeiros et al. (2017) e Guimarães, Soares e Cruz, (2020). Já nos trabalhos de Bernardo et al. (1998), Leles et al. (2001), Magalhães et al. (2006) Tavares, Soares e Cruz, (2020) os *DAPs* não apresentam diferenças significativas entre os diferentes espaçamentos e desbastes testados.

O diâmetro é muito sensível ao espaçamento de plantio (SCOLFORO, 1998) e o seu crescimento individual é afetado pela densidade populacional (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). Apesar do crescimento em diâmetro responder às mudanças causadas pelos desbastes, somente as árvores que foram afetadas pela competição apresentam aumento no crescimento em diâmetro (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). Tal fato pode explicar o comportamento dos tratamentos que não apresentaram diferença estatística. As árvores desses tratamentos podem estar em menor grau de competição e/ou, não foi possível perceber o crescimento em diâmetro pelo pouco tempo entre a idade em que foram realizados os desbastes (40 meses) e a medição analisada

(61 meses). A competição é uma variável difícil de ser mensurada, pois não se conhecem suas causas diretas, bem como a ligação entre a competição, a redução dos recursos disponíveis e a redução da taxa de crescimento (MARTINS et al., 2011). A maioria das espécies de *Eucalyptus* é intolerante à competição e o autodesbaste pode estar associado ao espaçamento reduzido dos plantios, (SCHNEIDER et al., 2015) e pelo déficit nutricional e hídrico do local (LACERDA; COUTO, 1993).

Para a altura total média das árvores, apenas o espaçamento 3x3 m apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), não sendo possível estabelecer uma relação entre o crescimento em altura e os diferentes espaçamentos e pesos dos desbastes. Esse comportamento pode ser explicado pelo curto período de tempo entre os desbastes e a medição final, sendo o tempo insuficiente para indicar tendência no crescimento das árvores manejadas nos tratamentos aplicados.

Diferentemente do diâmetro, a literatura indica que a variação da altura total apresenta diferentes comportamentos ao variar o espaçamento. Essa menor sensibilidade do crescimento em altura pode explicar o resultado do experimento, apresentando a altura de praticamente todos os tratamentos como estatisticamente iguais. Resultados do estudo que avaliou o aumento da densidade populacional e apresentou maior altura total de árvores são encontrados no estudo de Forrester e Baker (2012). Este fato pode ser explicado pelo maior crescimento da árvore em altura em busca da luz solar. Já nos estudos de Leles et al. (2001), Gominho e Pereira (2005), Ferreira et al. (2014), Nagar et al. (2015), Acuna et al. (2017) e Tavares, Soares e Cruz (2020), apresentaram redução da altura total ao aumentar a densidade populacional, que pode ser atribuído a maior competição entre as árvores influenciando no desenvolvimento da altura. Nos estudos de Henskens et al. (2001), Medhurst, Beadle e Neilsen, (2001), Magalhães et al. (2006), Trevisan et al. (2007), Silveira, Reiner e Smaniotto, (2014), Lopes et al. (2017) e Guimarães, Soares e Cruz, (2020), as alturas totais não apresentaram diferença estatística com o aumento da densidade populacional.

O crescimento em altura total em espaçamentos mais adensados ocorre pela competição entre as árvores por luz. Entretanto, o aumento da competição ao decorrer do tempo tende a reduzir a taxa de crescimento e, conseqüentemente, reduzir o crescimento em altura total nos menores

espaçamentos (SCOLFORO, 1998), e dentro de uma faixa de desbaste de menos de 50% (SKOVSGAARD; VANCLAY, 2008), o crescimento em altura não é afetado (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Analisando as variáveis volume total e biomassa do fuste, nota-se que os tratamentos que produziram as maiores médias por árvore foram os espaçamentos 3x3 m e 2x2 m com desbaste de 40%. Comparando os resultados das duas variáveis por hectare, os tratamentos que apresentaram maior produção foram os plantios nos espaçamentos 2x2 m com 40 e 60% de desbaste, sendo esses estatisticamente iguais ($p < 0,05$), seguido pelo tratamento 2x2 m com desbaste 20%. Esse resultado indica a maior produção em volume total e biomassa do fuste por unidade de área nos tratamentos com desbaste. Trabalhos semelhantes demonstram que espaçamentos maiores produzem indivíduos maiores (TREVISAN et al., 2007; FERREIRA et al., 2014; LEMOS et al., 2015; NAGAR et al., 2015; ACUNA et al., 2017; GUIMARÃES, SOARES e CRUZ, 2020). Porém, ao comparar o volume por unidade de área, os maiores valores são apresentados nos plantios com menor área útil (HENSKENS et al., 2001; MAGALHÃES et al., 2006; SILVEIRA, REINER e SMANIOTTO, 2014). Isso ocorre pelo fato de espaçamentos mais adensados possuir um maior número de indivíduos por área, o que compensa os menores tamanhos das árvores (STAPE; BINKLEY, 2010; BHANDARI et al., 2021). Além disso, o volume é mais sensível ao diâmetro do que a altura em plantios de maior idade (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008), o que pode explicar a semelhança entre o comportamento do volume individual com o do *DAP* médio das árvores.

Para Skovsgaard e Vanclay (2008), diferenças significativas na produção de volume por unidade de área em plantios com diferentes pesos de desbastes e mesmas condições de clima, solo e espaçamento só ocorrem na produção final se a remoção for maior que 50% da área basal. Nos trabalhos de Castro al., (2011) e Dobner Júnior, Higa e Urbano, (2012), os diferentes pesos de desbastes não apresentaram diferença significativa entre si na produção final de madeira.

Os resultados da biomassa do fuste, tanto da média dos indivíduos quanto por hectare, foram idênticos aos da variável volume. Esse comportamento se justifica pelo fato da densidade básica da madeira do presente estudo não apresentar diferença entre os tratamentos testados, como também ocorreu nos

estudos de Miranda, Tomé e Pereira (2003), Malan (2005) e Cassidy, Palmer e Smith (2013).

A diversidade de resultados deste estudo com os demais encontrados na literatura pode ser explicada pela variação do local de plantio, espaçamento inicial, espécie, quantidade, tipo, idade e intensidade dos desbastes e regime de manejo (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008; STAPE; BINKLEY, 2010).

6.2. Projeção da produção de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*

Os modelos ajustados obtiveram resultados satisfatórios para a projeção dos *DAP* e das *H* das árvores. De maneira geral, as estatísticas de desempenho dos modelos se assemelharam entre si para cada tratamento testado. Os gráficos de distribuição dos resíduos não apresentaram tendências de sub ou superestimação dos dados e a dispersão dos erros ficaram concentradas na faixa entre -20 e +20%.

Para os modelos da projeção dos *DAP*, as estatísticas de ajustes foram melhores se comparadas com as da projeção das *H*. Este fato pode ser explicado pela maior quantidade de árvores-amostra utilizadas para o ajuste dos modelos dos *DAP*.

Ao considerar a base de dados completa, houve melhoria nas estatísticas de ajuste apenas para os plantios nos espaçamentos 2x2 m com desbaste de 20 e 40% para a projeção dos *DAP*, o que pode indicar diferenças na tendência de crescimento dos tratamentos testados. Para a projeção das *H*, o modelo de Mitscherlich foi mais acurado que os demais.

Os trabalhos de Tonini, Costa e Scwengber, (2009), Hess e Schneider, (2010), Leite et al. (2011), Ngugi e Botkin, (2011), Miranda et al. (2014), Gonzáles-García et al. (2015), Miranda et al. (2018), Scolforo et al. (2019) e Carrijo et al. (2020) apresentaram melhor acurácia na projeção de variáveis *DAP*, *H* e de produção do volume e biomassa do que os obtidos nessa pesquisa. A maior quantidade de medições ao longo da vida dos plantios gera ajustes mais precisos, pois conseguem captar melhor a tendência de crescimentos dos povoamentos. Isso pode ser uma das explicações para a menor acurácia nos ajustes dos modelos do presente trabalho.

A maior quantidade de toras destinadas para a serraria apresentada pelo espaçamento 3x3 m pode ser explicada pela maior área vital das plantas, produzindo assim indivíduos de maiores dimensões. A menor quantidade produzida no espaçamento 2x2 m é explicada pela redução do espaço vital das árvores, aumentando a competição entre as plantas, e conseqüentemente apresentando menor crescimento individual.

A maior destinação da produção do espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% para mourões e lenha é explicada pela maior produtividade do tratamento obtida com o desbaste. Apesar de produzir árvores de menor dimensão, a produtividade é compensada pela maior quantidade de árvore por hectare, favorecendo a produção de toras destinadas a produção de produtos exigirem madeira de menores diâmetros, como mourões e lenha. A menor produção do espaçamento 3x3 m para esses multiprodutos é explicada pela menor quantidade de árvores no plantio e por se tratar de árvores de maiores diâmetros, a maioria da sua produção é destinada para produtos de maiores dimensões, como a serraria.

A maior produção total em metros cúbicos por hectare, considerando os tratamentos sem desbaste, é apresentada pelo espaçamento 3x2 m. Tal fato pode ser explicado pela maior quantidade de árvores em relação ao espaçamento 3x3m e indivíduos de maiores dimensões, se comparados com o espaçamento 2x2 m. O espaçamento 2x2 m apresentou a menor produção final, indicando que a maior quantidade de árvore por hectare não superou as maiores dimensões dos maiores espaçamentos. Ao considerar todos os tratamentos testados, os espaçamentos com desbaste apresentam maior volume em metros cúbicos por hectare, indicando que o desbaste proporciona ganho na produtividade final dos plantios.

6.3. Viabilidade econômica do manejo de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* para multiprodutos

Antes de serem implantados, os povoamentos devem ser submetidos a uma análise prévia de sua viabilidade econômica, para verificar se proporcionarão retornos econômicos satisfatórios. Essa análise é importante

para os produtores rurais pois permite identificar com antecedência os projetos mais vantajosos e aqueles de maior risco (CORREIA NETO, 2009; FOLMANN et al., 2014).

Para a taxa de desconto do empréstimo bancário de 6% a.a. (Tabela 19), nenhum dos tratamentos testados apresentou viabilidade econômica com corte aos 84 meses de idade. O alto custo de implantação e condução dos plantios de eucalipto, aliado a baixa produtividade dos povoamentos estudados (26,7843 m³ha⁻¹ano⁻¹ espaçamento 3x3 m aos 7 anos) justificam a inviabilidade dos projetos considerados. No trabalho de Barbosa et al. (2015), a prática do desbaste também foi inviável economicamente. Já nos trabalhos de Dias et al. (2005) e Cassidy, Palmer e Smith, (2013), os plantios com desbaste apresentaram maior viabilidade econômica que os tratamentos sem desbaste. Os custos do desbaste e a ausência de mercados para produtos mais nobres de madeira de *Eucalyptus spp.* deixam de estimular a prática pelos produtores rurais (EVANS; TURNBULL, 2004; SMITH; BRENNAN, 2006). No entanto, esses custos podem ser justificados se os produtos no final da rotação retornarem um valor líquido significativamente mais alto (NOLAN et al., 2005; MATTOS et al., 2014).

Considerando os valores negativos da TIR, Correia Neto, (2009) e Faro e Faro, (2016), explicam que para projetos com fluxos de caixa não convencionais, a TIR pode apresentar dois valores ou ser indeterminada. Isso explica o ocorrido no presente estudo, já que os projetos florestais sem desbaste apresentam receita apenas no último ano e os projetos com desbaste apresenta mais de uma mudança de sinal no fluxo de caixa do horizonte de planejamento.

Os custos com a colheita e transporte da produção são os que mais influenciam na viabilidade dos projetos florestais (SCOLFORO et al., 2001; RODE et al., 2014; SIMÕES; DINARDI; SILVA, 2018). No presente estudo, esses custos representam entre 40 a 60% das despesas totais com os plantios de eucalipto.

Ao comparar a análise de sensibilidade da variação dos custos e do valor de venda dos multiprodutos, é possível perceber que a resposta ao variar os custos de produção foi mais favorável para a viabilidade dos projetos.

A tendência de redução do prejuízo como o aumento da produção (Figura 9) indica que em locais mais produtivos, os plantios de eucalipto podem apresentar viabilidade econômica. No estudo de Virgens et al. (2015), para o mesmo tipo de solo, porém com maior precipitação média anual, os plantios de eucalipto apresentaram IMA de $33,08 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ aos 7 anos de idade e para todos os cenários considerados, foram viáveis economicamente. No estudo de Gonçalves et al. (2017), ao estudar plantios de eucalipto em 3 sítios com produtividade distinta, o que apresentou menor IMA foi inviável economicamente para todos os cenários considerados, indicando que a produtividade exerce grande influência na viabilidade dos projetos florestais.

Considerando a variação na idade de colheita (Figura 10), a redução do prejuízo nos espaçamentos 2x2 m com desbaste de 40 e 60% com corte final aos 108 meses de idade pode ser atribuído pelo ganho em diâmetro das árvores remanescentes, destinando uma maior quantidade de toras para os multiprodutos mais nobres, aumentando a receita dos plantios florestais. A estabilidade dos demais tratamentos indica que o aumento da produção ao decorrer do tempo, não está suprimindo os custos de manutenção da floresta.

Na variação da taxa de juros, apenas a taxa Selic de 1,9% (2020), houve viabilidade econômica (Figura 11) dos tratamentos testados, exceto para o espaçamento 2x2 m. O aumento nos custos de implantação do espaçamento mais adensado, não foi suprido pela receita obtida com a venda da produção. A viabilidade dos projetos com a menor taxa de juros também pode ser atribuída ao menor valor da terra considerado, já que ele é calculado em função da taxa de juros. O valor do hectare de terra nua no estado do Espírito Santo é um dos mais caros do Brasil, influenciando no aumento dos custos dos plantios de eucalipto (CARNIELLI; SANTOS; RAPOSO FILHO, 2017). No estudo de Esteves, Martins e Ferreira, (2020), o valor da terra considerado também inviabilizou os plantios de eucaliptos considerados.

Ao considerar os plantios de eucalipto tradicionalmente executados pelos produtores da região, que destinam sua produção apenas para celulose com o corte final aos 72 e 84 meses de idade, todos cenários apresentaram inviabilidade econômica. É comum entre os pequenos produtores a deficiência e até mesmo a ausência do controle dos gastos com os plantios florestais, o que

pode gerar prejuízos que muitas das vezes não são percebidos (MATTOS et al., 2014, CHICHORRO et al., 2017). O ponto de equilíbrio indica que é necessária uma maior produção para que o plantio seja viável economicamente. Isso pode ser alcançado implantando os povoamentos florestais em locais com condições edafoclimáticas mais favoráveis, como melhor qualidade de solo e maior quantidade de chuvas e melhor distribuídas ao longo do ano (GONÇALVES et al., 2017).

Como alternativa, a diversificação da produção, por meio da aplicação de desbastes, é uma estratégia interessante devido a possibilidade de obter receitas mais distribuídas ao longo de cada ciclo e a não dependência de venda de apenas um produto (VITALE; MIRANDA, 2010). Assim, se as receitas de algum produto apresentar menor valor de mercado, poderão ser compensadas pelas receitas de outros produtos, de maior valor de venda, no momento de sua comercialização, otimizando a produção e maximizando os lucros (SOARES; CARVALHO; VALE, 2003). Outra alternativa para os produtores rurais, que já praticada no estado, é o Fomento Florestal, em que a empresa compradora de madeira arca com alguns custos de produção (determinados em contrato) e o produtor ainda tem a garantia da compra da produção (REZENDE et al., 2006; RODE et al., 2014; CHICHORRO et al., 2017; SOUZA et al., 2019).

7. CONCLUSÕES

O espaçamento 3x3 m apresentou os maiores indivíduos para as variáveis diâmetro, altura total, volume total e biomassa do fuste. Para a produção por hectare, as maiores produções em volume total e biomassa do fuste foram observadas nos espaçamentos 2x2 m com desbaste de 40 e 60% da área basal.

Para a colheita aos 84 meses de idade e uma taxa de desconto de 6% a.a., ao reduzir os custos de produção em 20%, os tratamentos 2x2 m com desbaste de 40 e 60% apresentaram viabilidade econômica. Ao aumentar o valor de venda dos multiprodutos em 20%, o espaçamento 2x2 m com 60% de desbaste também apresentou viabilidade econômica. Com uma taxa de desconto de 1,9%, apenas o espaçamento 2x2 m foi inviável economicamente.

Comparando os resultados do VAUE dos tratamentos testados para multiprodutos com os cenários considerados para a celulose, apenas o espaçamento 3x3 m com corte final aos 84 meses apresentou menor prejuízo ao destinar a produção para a celulose. Para todos os outros cenários, o menor prejuízo se obtém quando se maneja a espécie no espaçamento 2x2 m com desbaste de 60%.

REFERÊNCIAS

ACUNA, M. et al. Impacts of early thinning of a *Eucalyptus globulus* labill. Pulplog plantation in western australia on economic profitability and harvester productivity. **Forests**, v. 8, n. 11, p. 1–14, 2017.

ALVES, E. G. et al. Análise comparativa da colheita florestal em regime de manejo de alto fuste e talhadia. **Nativa**, v. 6, n. 3, p. 288, 2018.

AZEVEDO, G. B. DE et al. Modelagem da produção em nível de povoamento e por distribuição diamétrica em plantios de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 383–392, 2016.

BAI, S. H. et al. Effects of forest thinning on soil-plant carbon and nitrogen dynamics. **Plant and Soil**, v. 411, n. 1–2, p. 437–449, 2017.

BARBIERI, J. C.; ÁLVARES, A. C. T.; MACHLINE, C. Taxa Interna de Retorno: controvérsias e interpretações. **Revista GEPROS**, v. 5, n. 2, p. 131–142, 2007.

BARBOSA, R. H. DE S. et al. Análise técnica e econômica do desbaste em um povoamento de eucalipto na região sul do Espírito Santo. **Nativa**, v. 03, n. 02, p. 125–130, 2015.

BARROS, S. D. S. **Forma do fuste e qualidade da madeira de Eucalipto em diferentes espaçamentos e níveis de desbastes**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, p. 72. 2019.

BCB. **Banco Central do Brasil**, 2021. Taxas de juros básicas, Histórico. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>. Acesso em 23 fev. 2021.

BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, É. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1375–1384, 2017.

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.

BETTINGER, P. et al. **Forest management and planning**. London: Elsevier, 2009.

BETTINGER, P. et al. **Forest Management and Planning**. 2. ed. London: Elsevier, 2017.

BEZERRA, A. F. et al. Análise da viabilidade econômica de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbastes no Mato Grosso. **Cerne**, v. 17, n. 4, p. 584–592, 2011.

BHANDARI, S. K. et al. Effect of thinning and fertilizer on growth and allometry of *Eucalyptus marginata*. **Forest Ecology and Management**, v. 479, n. September 2020, p. 118594, 2021.

BINOTI, D. H. B. et al. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diâmetrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 147–156, 2010.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. DA S.; LEITE, H. G. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos de eucalipto utilizando a função logística generalizada. **Revista Arvore**, v. 39, n. 4, p. 707–711, 2015.

BRIANEZI, D. et al. Balanço de carbono em monocultivo de eucalipto com diferentes arranjos espaciais. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 27–33, 2019.

BURSCHEL, P.; HUSS, J. **Grundriss des Waldbaus**. 3. ed. Berlin: Parey, 2003.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. VIÇOSA: UVF, 2017.

CARDOSO JUNIOR, A. A. et al. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idades em clone de híbrido de *Eucalyptus*. **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 218–224, 2005.

CARNIELLI, H. P.; SANTOS, J. G. DOS; RAPOSO FILHO, F. L. **Valores de terra nua nas diferentes regiões do estado do Espírito Santo**. Vitória: Ruralter, 2017.

CARON, B. O. et al. Quantificação da Biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 106–112, 2015.

CARRIJO, J. V. N. et al. The growth and production modeling of individual trees of *Eucalyptus urophylla* plantations. **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 5, p. 1663–1672, 2020.

CASSIDY, M. et al. Stocking and intensity of thinning affect log size and value in *Eucalyptus pilularis*. **Forest Ecology and Management**, v. 264, p. 220–227, 2012.

CASSIDY, M.; PALMER, G.; SMITH, R. G. B. The effect of wide initial spacing on wood properties in plantation grown *Eucalyptus pilularis*. **New Forests**, v. 44, n. 6, p. 919–936, 2013.

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

CASTRO, R. V. O. et al. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 3, p. 287–295, 2013.

CHICHORRO, J. F. et al. Custos e índices econômicos de povoamentos de eucalipto do Programa Produtor Florestal no Espírito Santo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 447–456, 2017.

CORREIA NETO, J. F. **Elaboração e Avaliação de Projetos de Investimento**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

DAVIS, L. K. et al. **Forest Management: to sustain ecological, economic, and social value**. Long Grove: Waveland Press, 2005.

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

DOBNER JÚNIOR, M.; HIGA, A. R.; URBANO, E. Determinação da idade e intensidade ótimas para realização do primeiro desbaste em um povoamento de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, v. 42, n. 3, p. 485–494, 2012.

ESTEVES, R. A.; MARTINS, J. H.; FERREIRA, W. R. Viabilidade do reflorestamento com eucalipto para produção de carvão Feasibility. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 796–805, 2020.

EVANS, J.; TURNBULL, J. W. **Plantation forestry in the tropics: the role, silviculture, and use of planted forests for industrial, social, environmental, and agroforestry purposes**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2004.

FAO. Management of tropical moist forest in Africa. **Forest paper**, v. 88, p. 165, 1989.

FARO, C. DE; FARO, P. DE. Projetos com mais de duas variações de sinal e o critério da Taxa Interna de Retorno. **Estudos Econômicos**, v. 30, n. 1, p. 27–49, 2016.

FERRAZ FILHO, A. C. et al. Thinning regimes and initial spacing for eucalyptus plantations in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 1, p. 255–265, 2018.

FERREIRA, D. H. A. A. et al. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 431–440, 2014.

FOLMANN, W. T. et al. Viabilidade de projetos florestais em três regimes de manejo na mesorregião centro-oriental do Paraná. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 153–160, 2014.

FORRESTER, D. I.; BAKER, T. G. Growth responses to thinning and pruning in *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, and *Eucalyptus grandis* plantations in southeastern Australia. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 42, n. 1, p. 75–87, 2012.

GARBIN, M. L. et al. Breve histórico e classificação da vegetação capixaba. **Rodriguesia**, v. 68, n. 5, p. 1883–1894, 2017.

GOMINHO, J.; PEREIRA, H. The influence of tree spacing in heartwood content in *Eucalyptus globulus* Labill. **Wood and Fiber Science**, v. 37, n. 4, p. 582–590, 2005.

GONÇALVES, J. C. et al. Comparação dos modelos prognósticos de Clutter e da função Logística. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 311, 2016.

GONÇALVES, J. C. et al. Análise econômica da rotação florestal de povoamentos de eucalipto utilizando a simulação de Monte Carlo. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1339–1347, 2017.

GONZÁLEZ-GARCÍA, M. et al. Dynamic growth and yield model including environmental factors for *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden short rotation woody crops in Northwest Spain. **New Forests**, v. 46, n. 3, p. 387–407, 2015.

GROSSBERG, S. P. **Forest Management**. New York: Nova Science Publishers, 2009.

GUIMARÃES, V. M.; SOARES, T. S.; CRUZ, E. S. Influência do espaçamento em primeira e segunda rotação de eucalipto manejado sob regime de curta rotação. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1–10, 2020.

HENSKENS, F. L. et al. Physiological basis of spacing effects on tree growth and form in *Eucalyptus globulus*. **Trees - Structure and Function**, v. 15, n. 6, p. 365–377, 2001.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciencia Florestal**, v. 20, n. 1, p. 107–122, 2010.

IDAF. **Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal Do Estado Do Espírito Santo**, 2017. Downloads, Tabela Geral de Taxas do IDAF. Disponível em: <<https://idaf.es.gov.br/tabela-geral-de-taxas-do-idaf-2>>. Acesso em 19 out. 2020.

INCAPER. **Coordenação de meteorologia**, 2019. Gráficos da Série Histórica. Disponível em: <<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-sooretama>>. Acesso em: 26 jan. 2021.

IVKOVIĆ, M.; WU, H.; KUMAR, S. Bio-economic modelling as a method for determining economic weights for optimal multiple-trait tree selection. **Silvae Genetica**, v. 59, n. 2–3, p. 77–90, 2010.

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.

LACERDA, J. S. DE; COUTO, H. T. Z. DO. O uso da Lei do Autodesbaste na definição do espaçamento para plantios de *Eucalyptus*. **IPEF**, v. 182, p. 7, 1993.

LEITE, H. et al. Classificação da capacidade produtiva de povoamentos de eucalipto utilizando diâmetro dominante. **Silva Lusitana**, v. 19, n. 2, p. 181–195, 2011.

LELES, P. S. DOS S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 59, p. 77–87, 2001.

LEMOS, S. V. et al. Geração energética de eucalipto de curta rotação. **Energia Na Agricultura**, v. 30, n. 3, p. 263, 2015.

LOPES, E. D. et al. Influência do espaçamento de plantio na produção energética de clones de *Corymbia* e *Eucalyptus*. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 95–104, 2017.

MAGALHÃES, L. G. S. et al. Densidade básica da madeira de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 19435–19445, 2020.

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. 1–7, 2006.

MALAN, F. S. The effect of planting density on the wood quality of south african-grown *Eucalyptus grandis*. **Southern African Forestry Journal**, v. 205, n. 1, p. 31–37, 2005.

MARTINS, E. R. et al. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do afilamento do fuste de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, p. 33–38, 2016.

MARTINS, F. B. et al. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 9, p. 1089–1098, 2011.

MATHEWS, J. D. **Silvicultural systems**. New York: Oxford: Clarendon Press, 1996.

MATTOS, P. P. DE et al. **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília: EMBRAPA, 2014.

MEDEIROS, R. A. et al. Thinning from below: Effects on height of dominant trees and diameter distribution in *Eucalyptus* stands. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 29, n. 2, p. 238–247, 2017.

MEDHURST, J. L.; BEADLE, C. L.; NEILSEN, W. A. Early-age and later-age thinning affects growth, dominance, and intraspecific competition in *Eucalyptus nitens* plantations. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 31, n. 2, p. 187–197, 2001.

MIRANDA, R. O. V. et al. Estratificação hipsométrica em classes de sítio e de altura total em plantios clonais de eucaliptos. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n. 4, p. 113–119, 2014.

MIRANDA, R. O. V. et al. Modelagem do crescimento e produção em classes de precipitação pluviométrica para *Eucalyptus* sp. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 117–128, 2015.

MIRANDA, I.; TOMÉ, M.; PEREIRA, H. The influence of spacing on wood properties for *Eucalyptus globulus* Labill pulpwood. **Appita Journal**, v. 56, n. 2, p. 140–144, 2003.

MIRANDA, R. et al. Prediction system for diameter distribution and wood production of *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, 2018.

MOULIN, J. C. et al. Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 0, p. 1–10, 2017.

NAGAR, B. et al. Impact of initial spacing on growth and yield of *Eucalyptus camaldulensis* in arid region of India. **World Applied Sciences Journal**, v. 33, n. August, p. 1362–1368, 2015.

NEILSEN, W. A.; GERRAND, A. M. Growth and branching habit of *Eucalyptus nitens* at different spacing and the effect on final crop selection. **Forest Ecology and Management**, v. 123, n. 2–3, p. 217–229, 1999.

NGUGI, M. R.; BOTKIN, D. B. Validation of a multispecies forest dynamics model using 50-year growth from *Eucalyptus* forests in eastern Australia. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 17, p. 3261–3270, 2011.

NOGUEIRA, G. S. et al. Thinning intensity and pruning impacts on *Eucalyptus* plantations in Brazil. **International Journal of Forestry Research**, v. 2015, p. 1–10, 2015.

NOLAN, G. et al. **Eucalypt plantations for solid wood products in Australia: A review**. Melbourne: Forest & Wood Products Research and Development Corporation, 2005.

OLIVEIRA, G. S. et al. Análise de rentabilidade e risco de investimentos, com ênfase em reflorestamentos da região sul do Brasil: Uma revisão de literatura. **Brazilian Journal of Development Taíze**, v. 6, n. 1, p. 2776–2791, 2020.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

PEIXOTO, A. L.; GENTRY, A. Diversidade e composição florística da mata de tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 13, p. 19–25, 1990.

PENG, Y. et al. Grade and value variations in *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* veneer due to variations in initial plantation spacings. **Australian Forestry**, v. 77, n. 1, p. 39–50, 2014.

QUEIROZ, A. M. DE; SILVA, Z. A. G. P. DA G. E. Aspectos econômicos dos plantios com eucalipto (*Eucalyptus* spp.) na região do Baixo Acre. **Floresta**, v. 46, n. 3, p. 287–295, 2016.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing, version 4.0.2**. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019.

RESENDE, R. R. et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 219–225, 2004.

RETSLAFF, F. A. DE S. et al. Prognose do crescimento e da produção em classes de diâmetro para povoamentos desbastados de *Eucalyptus grandis* no Sul do Brasil. **Revista Arvore**, v. 36, n. 4, p. 719–732, 2012.

REZENDE, J. L. P. DE; OLIVEIRA, A. D. DE. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 3. ed. VIÇOSA: UFV, 2013.

REZENDE, J. L. P. et al. Análise econômica de fomento florestal com eucalipto no estado de Minas Gerais. **Cerne, Lavras-MG**, v. 12, n. 3, p. 221–231, 2006.

RIBEIRO, M. D. DOS S. B. et al. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sob diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 31–45, 2017.

ROCHA, Q. S.; SALES, H. L.; CABACINHA, C. D. Implantação e condução de povoamentos de eucalipto em propriedades rurais na região de Montes Claros - MG: uma análise da viabilidade econômica. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 75–88, 2015.

RODE, R. et al. The economics and optimal management regimes of eucalyptus plantations: A case study of forestry outgrower schemes in Brazil. **Forest Policy and Economics**, v. 44, p. 26–33, 2014.

SCHNEIDER, P. R. et al. Influência do espaçamento no autodesbaste de povoamento monoclonal de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 119–126, 2015.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria - RS: FACOS-UFSM, 2008.

SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Santa Maria - RS: UFSM, 2016.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 17–22, 2011.

SCOLFORO, H. F. et al. Eucalyptus growth and yield system: Linking individual-tree and stand-level growth models in clonal Eucalypt plantations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 432, n. June 2018, p. 1–16, 2019.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Simulação e avaliação econômica de regimes de desbastes e desrama para obter madeira de *Pinus taeda* livre de nós. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 121, 2001.

SEREGHETTI, G. C. et al. Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto. **Energia Na Agricultura**, v. 30, n. 3, p. 257–262, 2015.

SGROI, F. et al. Economic assessment of *Eucalyptus* (spp.) for biomass production as alternative crop in Southern Italy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 614–619, 2015.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) E Valor Esperado da Terra. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 931–936, 2005.

SILVEIRA, E.; REINER, D.; SMANIOTTO, J. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunnii* na região sudoeste do Paraná. **Revista Técnico Científica**, v. 1, n. 2, p. 1–9, 2014.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Avaliação de risco em investimentos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. Boletim Té, n. 52, p. 79–92, 2006.

SIMÕES, D.; DINARDI, A. J.; SILVA, M. R. DA. Investment uncertainty analysis in eucalyptus bole biomass production in Brazil. **Forests**, v. 9, n. 7, p. 1–13, 2018.

SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Forest site productivity: A review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. **Forestry**, v. 81, n. 1, p. 13–31, 2008.

SMITH, R. G. B.; BRENNAN, P. First thinning in sub-tropical eucalypt plantations grown for high-value solid-wood products: A review. **Australian Forestry**, v. 69, n. 4, p. 305–312, 2006.

- SOARES, T. S. et al. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 811–820, 2003a.
- SOARES, T. S. et al. Avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 481–486, 2003b.
- SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; VALE, A. B. DO. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 689–694, 2003.
- SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B. DO. Um modelo alternativo para a quantificação de multiprodutos em árvores individuais. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 875–882, 2004.
- SOHN, J. A.; SAHA, S.; BAUHUS, J. Potential of forest thinning to mitigate drought stress: A meta-analysis. **Forest Ecology and Management**, v. 380, p. 261–273, 2016.
- SOUZA, P. G. et al. Estratégias e políticas para o desenvolvimento de programas privados de fomento florestal em pequenas propriedades rurais no Brasil. **Brazilian Journal of Technology**, v. 2, n. 4, p. 930–945, 2019.
- STANTURF, J. A. et al. Productivity and profitability potential for non-native *Eucalyptus plantings* in the southern USA. **Forest Policy and Economics**, v. 97, n. March, p. 210–222, 2018.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D. Insights from full-rotation nelder spacing trials with eucalyptus in São Paulo, Brazil. **Southern Forests**, v. 72, n. 2, p. 91–98, 2010.
- TAVARES, A. P. C.; SOARES, T. S.; CRUZ, E. S. Dendrometric characteristics and basic wood density of *Eucalyptus* clones in different spacing. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 7, n. 3, p. 104–108, 2020.
- TONINI, H.; COSTA, M. C. G.; SCWENGBER, L. A. M. Crescimento da Teca (*Tectona grandis*) em Reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 0, n. 59, p. 05–14, 2009.
- TREVISAN, R. et al. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, p. 377–387, 2007.
- TRINDADE, A. L. C. et al. **Boletim SNIF 2019**. 1. ed. Brasília: SNIF, 2019.
- TSUKAMOTO FILHO, A. DE A. et al. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 487–494, 2003.
- VALE, A. B. DO et al. **Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência**. Viçosa: UFV, 2014.

VIRGENS, A. P. DAS et al. Análise econômica e de sensibilidade em projetos de reflorestamentos no estado da Bahia. **Enciclopédia Bioesfera**, Goiânia-GO, v. 11, n. 21, p. 120–127, 2015.

VITALE, V.; MIRANDA, G. D. M. Análise comparativa da viabilidade econômica de plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* na região centro-sul do Paraná. **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 469–476, 2010.

VOLKOVA, L. et al. Impact of mechanical thinning on forest carbon, fuel hazard and simulated fire behaviour in *Eucalyptus delegatensis* forest of south-eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 92–100, 2017.

WEST, P. W.; SMITH, R. G. B. Effects of tree spacing on branch-size development during early growth of an experimental plantation of *Eucalyptus pilularis* in subtropical Australia. **Australian Forestry**, v. 00, n. 00, p. 1–7, 2020.

8. APÊNDICES

8.1. Quantidade de produtos por hectare dos desbastes realizado aos 40 meses de idade

Tabela 21: Quantidade de produtos por hectare dos desbastes dos tratamentos 2x2m com 20, 40 e 60% de desbaste

Trat.	Mourões 1		Mourões 2		Lenha		Total	
	un.	m ³	un.	m ³	un.	m ³	un.	m ³
40 meses								
T4	14	0,4512	3212	52,4544	2365	8,2603	5.591	61,1659
T5	142	4,5390	6788	101,1587	4516	15,5920	11.446	121,2897
T6	36	1,0967	8362	124,5491	5605	18,0239	14.003	143,6697

Em que: Trat. Tratamentos testados; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal; m³: metro cúbico; un.: quantidade de toras.

8.2. Tabelas dos resultados das análises de sensibilidade

Tabela 22: Valores do VAUE (R\$ ha⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação da idade de colheita aos 72, 84 e 96 meses de idade para a taxa de desconto de 6% ao ano

Trat.	Idade de colheita (meses)			
	72	84	96	108
T1	-1.014,14	-968,07	-981,36	-1.037,07
T2	-1.182,68	-1.012,84	-981,24	-1.081,29
T3	-1.485,24	-1.445,51	-1.462,71	-1.411,80
T4	-1.025,89	-1.013,48	-1.040,11	-996,97
T5	-726,79	-740,57	-752,42	-484,96
T6	-598,90	-599,35	-644,67	-315,73

Trat. Tratamentos testados; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal.

Tabela 23: Valores do VPL (R\$ ha⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação dos custos de produção aos 84 meses de idade para a taxa de desconto de 6% a.a.

Trat.	Variação dos custos de produção								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	+5%	+10%	+15%	+20%
T1	-1.763,43	-2.673,61	-3.583,79	-4.493,97	-5.404,14	-6.314,32	-7.224,50	-8.134,68	-9.044,85
T2	-1.746,35	-2.723,28	-3.700,22	-4.677,15	-5.654,09	-6.631,02	-7.607,96	-8.584,89	-9.561,83
T3	-3.966,14	-4.991,95	-6.017,77	-7.043,58	-8.069,39	-9.095,21	-10.121,02	-11.146,84	-12.172,65
T4	-1.059,17	-2.208,79	-3.358,40	-4.508,02	-5.657,63	-6.807,25	-7.956,86	-9.106,48	-10.256,09
T5	700,73	-507,98	-1.716,70	-2.925,41	-4.134,12	-5.342,84	-6.551,55	-7.760,27	-8.968,98
T6	1.617,16	376,42	-864,32	-2.105,06	-3.345,80	-4.586,54	-5.827,29	-7.068,03	-8.308,77

Trat. Tratamentos testados; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal.

Tabela 24: Valores do VPL (R\$ ha⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação dos valores de venda dos multiprodutos aos 84 meses de idade de corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.

Trat.	Variação dos valores de venda dos multiprodutos								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	+5%	+10%	+15%	+20%
T1	-7.964,02	-7.324,05	-6.684,08	-6.044,11	-5.404,14	-4.764,17	-4.124,20	-3.484,23	-2.844,26
T2	-8.431,01	-7.736,78	-7.042,55	-6.348,32	-5.654,09	-4.959,86	-4.265,63	-3.571,39	-2.877,16
T3	-10.558,77	-9.936,43	-9.314,08	-8.691,74	-8.069,39	-7.447,05	-6.824,70	-6.202,36	-5.580,02
T4	-9.124,56	-8.257,83	-7.391,10	-6.524,37	-5.657,63	-4.790,90	-3.924,17	-3.057,43	-2.190,70
T5	-8.142,16	-7.140,15	-6.138,14	-5.136,13	-4.134,12	-3.132,12	-2.130,11	-1.128,10	-126,09
T6	-7.639,61	-6.566,16	-5.492,71	-4.419,25	-3.345,80	-2.272,35	-1.198,90	-125,45	948,00

Trat. Tratamentos testados; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal.

Tabela 25: Valores do VPL (R\$ ha⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação da produção aos 84 meses de idade de corte final para a taxa de desconto de 6% a.a.

Trat.	Variação da produção								
	-20%	-15%	-10%	-5%	0%	+5%	+10%	+15%	+20%
T1	-6.937,95	-6.544,22	-6.150,49	-5.756,77	-5.404,14	-4.969,31	-4.575,59	-4.181,86	-3.788,13
T2	-7.374,56	-6.941,29	-6.492,23	-6.074,75	-5.654,09	-5.208,20	-4.774,93	-4.341,66	-3.908,39
T3	-9.641,57	-9.249,70	-8.857,82	-8.465,94	-8.069,39	-7.682,19	-7.290,31	-6.898,44	-6.506,56
T4	-7.617,88	-7.099,52	-6.581,16	-6.062,81	-5.657,63	-5.026,09	-4.507,73	-3.989,37	-3.471,02
T5	-6.487,58	-5.898,58	-5.309,58	-4.720,58	-4.134,12	-3.542,58	-2.953,58	-2.364,57	-1.775,57
T6	-5.906,71	-5.281,41	-4.656,10	-4.030,80	-3.345,80	-2.780,19	-2.154,88	-1.529,57	-904,27

Trat. Tratamentos testados; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal.

Tabela 26: Valores do VPL (R\$ ha⁻¹) da análise de sensibilidade para a variação da taxa de desconto considerando os valores da taxa Selic dos anos de 2013 a 2020 com corte final aos 84 meses de idade

Trat.	Valores da taxa Selic (%) em cada ano considerado								
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
	9,40	11,15	14,15	13,90	7,40	6,40	4,90	1,90	
T1	-10.107,98	-12.163,55	-15.225,59	-14.990,12	-7.466,78	-6.012,99	-3.643,36	1.894,29	
T2	-10.520,39	-12.645,04	-15.807,05	-15.564,04	-7.788,63	-6.284,25	-3.831,23	1.904,93	
T3	-12.774,97	-14.831,28	-17.894,39	-17.658,85	-10.132,80	-8.678,47	-6.307,94	-768,17	
T4	-10.525,55	-12.662,22	-15.857,40	-15.611,13	-7.788,80	-6.286,19	-3.842,17	1.847,44	
T5	-8.980,35	-11.119,43	-14.334,24	-14.085,72	-6.251,51	-4.757,96	-2.335,15	3.278,24	
T6	-8.234,87	-10.396,24	-13.648,97	-13.397,31	-5.480,68	-3.974,61	-1.533,34	4.114,97	

Trat. Tratamentos testados; T1: espaçamento 3x3 m; T2: espaçamento 3x2 m; T3: espaçamento 2x2 m; T4: espaçamento 2x2 m com desbaste de 20% da área basal; T5: espaçamento 2x2 m com desbaste de 40% da área basal; T6: espaçamento 2x2 m com desbaste de 60% da área basal.