

MAURÍCIO IVAN CRUZ

RENTABILIDADE ECONÔMICA DE TRÊS REGIMES DE MANEJO DE  
*Pinus taeda L.*, EM DIONÍSIO CERQUEIRA – SC.

CASCVEL  
PARANÁ – BRASIL  
MARÇO – 2021

MAURÍCIO IVAN CRUZ

**RENTABILIDADE ECONÔMICA DE TRÊS REGIMES DE MANEJO DE  
*Pinus taeda* L., EM DIONÍSIO CERQUEIRA – SC.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dra. Maritane Prior

Coorientador: Dr. Alfredo José Petruski

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
MARÇO – 2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Cruz, Maurício Ivan

Rentabilidade econômica de três regimes de manejo de Pinus taeda L., em Dionísio Cerqueira ? SC / Maurício Ivan Cruz; orientador(a), Maritane Prior; coorientador(a), Alfredo José Petruski, 2021.

136 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2021.

1. Inventário florestal. 2. Biomassa energética. 3. Afilamento. 4. Sortimentos. I. Prior, Maritane. II. Petruski, Alfredo José. III. Título.

**MAURÍCIO IVAN CRUZ**

Rentabilidade econômica de três regimes de manejo de *Pinus taeda* L., em  
Dionísio Cerqueira – SC

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração  
Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na  
Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Maritane Prior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Alfredo Petruski

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Eduardo Camargo Nogueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Edilson Batista de Oliveira

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Cascavel, 9 de março de 2021

*Dedico este trabalho ao meu avô,  
José Zenatti Cruz (in memoriam).  
Que seu legado de honestidade e trabalho duro  
seja exemplo em nossa família  
por muitas gerações.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e pela sua graça infinita.

Agradeço a minha família por todo amor e carinho. Obrigado por dedicarem seu tempo e por se comprometerem a esse projeto junto comigo. Agradeço ao meu pai Mauro, minha Mãe Raquel, meus irmãos Fabricio e Mayara por toda a ajuda prestada. Obrigado também aos meus tios João e Volmir que auxiliaram na coleta dos dados da dissertação. Esta pesquisa só foi possível graças a vocês.

Agradeço ao meu colega e amigo Giordano, por toda a paciência e ajuda prestada, enquanto dava meus primeiros passos na Engenharia Florestal. Obrigado também pelo empréstimo dos equipamentos essenciais para esta pesquisa.

A todos os amigos do mestrado por compartilharem comigo tantos momentos, alegres ou tristes, os quais compartilhamos ajudando uns aos outros.

Agradeço também a minha orientadora, Prof. Dra. Maritane Prior por toda sua calma, paciência e compreensão. Obrigado por todo apoio e por abraçar esse projeto comigo. Que eu possa, em minha caminhada profissional, sempre me espelhar no seu exemplo. Este trabalho só foi possível pois você acreditou em mim, obrigado.

Agradeço também ao meu coorientador Prof. Dr. José Alfredo Petruski por todo auxílio prestado como coorientador, mestre e amigo. Obrigado por me ajudar a delimitar as propostas dessa pesquisa, pelas suas contribuições contribuindo com ideias e pontuações imprescindíveis para que este trabalho pudesse ser tão bom quanto possível. Obrigado.

Agradeço aos membros da Banca, Prof. Dr. Carlos Eduardo e Dr. Edilson Oliveira, Prof. Dr. Armin Feiden e Prof. Dr. Gustavo Savaris por aceitarem meu convite em participar da minha banca como titulares e suplentes.

Agradeço a Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE e ao Programa de Pós Graduação de Engenharia de Energia na Agricultura – PPGEA, pelo apoio para a realização deste trabalho.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsa para a realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos de conversão da biomassa em energia. Fonte: Chum (2012). Adaptado pelo autor.....	6
Figura 2 – Repartição da Oferta Interna de Energia – OIE. Fonte: BEN, 2019.....	8
Figura 3 – Forma do tronco de uma árvore. Fonte: Kershaw Jr. et al (2017b). Adaptado pelo autor. ....	10
Figura 4 – Produtos florestais. Fonte: IBÁ, 2019. Adaptado pelo autor. ....	12
Figura 5 – Clinômetro Haglöf Sweden ECII D. Fonte: Haglöf Sweden (2021). ....	16
Figura 6 – Trena aberta de 50 metros. Fonte: Brasfort (2021). ....	16
Figura 7 - Dionísio Cerqueira - SC. Fonte: Autor (2021). ....	18
Figura 8 - Delimitação da Propriedade. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor. .	19
Figura 9 - Plantação de pinus na propriedade. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor. ....	19
Figura 10 - Área de plantio inicial. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor. ....	20
Figura 11 - Delimitação das áreas plantadas na propriedade. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor (2020). ....	21
Figura 12 – Subdesenvolvimento do pínus. Fonte: Autor (2020).....	22
Figura 13 – Morte de árvores devido ao sombreamento e competição por nutrientes. Fonte: Autor (2020).....	22
Figura 14 - Subdivisão dos 4 estratos florestais. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor. ....	25
Figura 15 - Alocação de uma unidade amostral. Fonte: Instituto de Florestas do Paraná (2016). ....	26
Figura 16 – Medição de CAP utilizando fita métrica de 150 cm. Fonte: Autor (2020). ....	27
Figura 17 – Medição do DAP. Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2003). ....	28
Figura 18 – Procedimento para medição de altura das árvores. Fonte: Instituto de Florestas do Paraná (2016). ....	30
Figura 19 – Detalhe do corte realizado para cubagem. Fonte: Autor (2020). ....	33
Figura 20 – Ocorrência da quebra da ponta durante o abatimento. Fonte: Autor (2020). ....	34
Figura 21 – Alocação das U. A. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor. ....	45
Figura 22 – Distribuição qualitativa das árvores na U.A. 1. Fonte: Autor (2021).....	47
Figura 23 - Histograma de frequência de DAP da U.A. 1. Fonte: Autor (2021).....	47
Figura 24 – Distribuição qualitativa das árvores na U.A. 2. Fonte: Autor (2021).....	49
Figura 25 – Histograma de frequência de DAP da U.A. 2. Fonte: Autor (2021).....	50
Figura 26 – Distribuição Qualitativa das árvores na U.A. 3. Fonte: Autor (2021).....	51
Figura 27 – Histograma de frequência de DAP da U.A. 3. Fonte: Autor (2021).....	52
Figura 28 – Distribuição qualitativa das árvores na U.A. 4. Fonte: Autor (2021).....	53
Figura 29 – Histograma de frequência de DAP da U.A. 4. Fonte: Autor (2021).....	54
Figura 30 – Distribuição qualitativa das árvores entre todas as U.A. Fonte: Autor (2021). ...	55
Figura 31 – Histograma de frequência dos DAP entre todas as U.A. Fonte: Autor (2021). ..	56
Figura 32 – Boxplot dos DAP para cada parcela. Fonte: Autor (2021). ....	56
Figura 33 – Boxplot de DAP para todas as parcelas. Fonte: Autor (2021). ....	57
Figura 34 – Gráfico de dispersão para as alturas medidas. Fonte: Autor (2021).....	62
Figura 35 – Gráficos de resíduos e boxplot para o modelo de Stofells. Fonte: Autor (2021).65	65
Figura 36 – Gráficos de resíduos e boxplot para o modelo de Curtis. Fonte: Autor (2021). .	66
Figura 37 – Gráfico de resíduos e boxplot para o modelo de Henriksen. Fonte: Autor (2021). .....	67
Figura 38 – Gráfico de resíduos e boxplot para o modelo de Prodan. Fonte: Autor (2021). .	68
Figura 39 – Curva de ajuste do modelo de Prodan. Fonte: Autor (2021).....	69
Figura 40 – Gráficos de resíduos e boxplot para o modelo de Schumacher e Hall. Fonte: Autor (2021).....	73
Figura 41 – Gráfico da curva de ajuste para o modelo de Schumacher e Hall. Fonte: Autor (2021). ....	74

Figura 42 – Gráficos de resíduos e boxplot para o modelo de Afilamento. Fonte: Autor (2021). .....	79
Figura 43 – Gráfico da curva de ajuste do modelo de afilamento. Fonte: Autor (2021). .....	80
Figura 44 – Ajuste da Equação de Integral de Sortimentos. Fonte: Autor (2021). .....	85
Figura 45 - Ajuste da Equação de Sortimentos. Fonte: Autor (2021). .....	85
Figura 46 - Ajuste da Equação de Volume. Fonte: Autor (2021). .....	86
Figura 47 - Ajuste da Equação de Sítio. Fonte: Autor (2021). .....	86
Figura 48 – Entrada de dados na aba Simulação. Fonte: Autor (2021). .....	87
Figura 49 - Entrada de dados na aba Inventário. Fonte: Autor (2021). .....	88
Figura 50 - Entrada de dados na aba Opções de Listagem. Fonte: Autor (2021). .....	89
Figura 51 – Resultados do software para o inventário na idade de 15 anos. Fonte: Autor (2021). .....	90
Figura 52 – Entrada de dados na aba Inventário para os 7 anos. Fonte: Autor (2021), .....	91
Figura 53 - Entrada de dados na aba Opções de Listagem para a idade de 7 anos. Fonte: Autor (2021). .....	92
Figura 54 – Resultados do software para a simulação do povoamento aos 7 anos. Fonte: Autor (2021). .....	93
Figura 55 – Resultados do software para os perfis de sortimento. Fonte: Autor (2021). .....	95
Figura 56 – Distribuição dos sortimentos em porcentagem. Fonte: Autor (2021). .....	96
Figura 57 - Distribuição dos sortimentos em volume parcial. Fonte: Autor (2021). .....	96
Figura 58 - Distribuição dos sortimentos em classes de diâmetro. Fonte: Autor (2021). .....	97
Figura 59 – Fluxo de caixa para a Proposta 1. Fonte: Autor (2021). .....	99
Figura 60 – Fluxo de caixa para a Proposta 2. Fonte: Autor (2021). .....	100
Figura 61 – Fluxo de caixa para a proposta 3. Fonte: Autor (2021). .....	101
Figura 62 – VPL <i>versus</i> taxa de juros para as propostas 1 e 3. Fonte: Autor (2021). .....	108
Figura 63 – VPL <i>versus</i> taxa de juros para a proposta 2 ajustada. Fonte: Autor (2021). .....	109
Figura 64 – VPL <i>versus</i> taxa de juros para propostas ajustadas. Fonte: Autor (2021). .....	110



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre o Teor de Lignina e o Poder Calorífico do Pinus e Eucalipto. Fonte: Horst (2013). Elaborado por STCP (2015), adaptado pelo autor.....	13
Tabela 2 – Ajustes nos dados para cada modelo hipsométrico. Fonte: Autor (2021). .....	36
Tabela 3 – Configuração das Unidades Amostrais. Fonte: Autor (2021). .....	44
Tabela 4 – DAP – U. A. 1. Fonte: Autor (2021). .....	46
Tabela 5 – DAP – U.A. 2. Fonte: Autor (2021). .....	48
Tabela 6 – DAP – U.A. 3. Fonte: Autor (2021). .....	50
Tabela 7 – DAP – U.A. 4. Fonte: Autor (2021). .....	52
Tabela 8 – Estatística descritiva para as parcelas. Fonte: Autor (2021). .....	54
Tabela 9 – Pares ordenados de DAP e Altura por U.A. Fonte: Autor (2021). .....	59
Tabela 10 – Relação das medidas realizadas. Fonte: Autor (2021). .....	60
Tabela 11 – Alturas dominantes. Fonte: Autor (2021). .....	63
Tabela 12 – Parâmetros dos modelos hipsométricos testados. Fonte: Autor (2021). .....	64
Tabela 13 – Cubagem rigorosa das árvores abatidas. Fonte: Autor (2021). .....	70
Tabela 14 – Resumo dos dados levantados pela cubagem rigorosa. Fonte: Autor (2021)...	71
Tabela 15 – Ajuste de dados para o modelo volumétrico. Fonte: Autor (2021). .....	71
Tabela 16 – Parâmetros do modelo volumétrico. Fonte: Autor (2021). .....	72
Tabela 17 – Dados para o modelo de afilamento. Fonte: Autor (2021). .....	75
Tabela 18 – Parâmetros do modelo de afilamento. Fonte: Autor (2021). .....	78
Tabela 19 – Relação dos sortimentos florestais. Fonte: Autor (2021). .....	81
Tabela 20 – Resumo do Inventário Florestal. Fonte: Autor (2021). .....	82
Tabela 21 – Classificação das árvores medidas em classes de altura e diâmetro. Fonte: Autor (2021). .....	83
Tabela 22 – Estatística descritiva para as variáveis de DAP, Altura e Volume. Fonte: Autor (2021). .....	83
Tabela 23 – Sortimentos para o processamento mecânico. Fonte: Autor (2021). .....	89
Tabela 24 – Sortimentos para o povoamento florestal. Fonte: Autor (2021). .....	94
Tabela 25 – Volumes de Sortimentos para o povoamento florestal. Fonte: Autor (2021). ....	95
Tabela 26 – Custo de Implantação para a proposta 1. Fonte: Autor (2021). .....	98
Tabela 27 – Receita prevista para a Proposta 1. Fonte: Autor (2021). .....	98
Tabela 28 – Custo de implantação para a Proposta 2. Fonte: Autor (2021). .....	99
Tabela 29 – Receita prevista para a Proposta 2. Fonte: Autor (2021). .....	100
Tabela 30 – Receitas previstas para a Proposta 3. Fonte: Autor (2021). .....	101
Tabela 31 – VPL da Proposta 1. Fonte: Autor (2021). .....	103
Tabela 32 – VPL da Proposta 2. Fonte: Autor (2021). .....	104
Tabela 33 – VPL da Proposta 3. Fonte: Autor (2021). .....	105
Tabela 34 – Receitas mínimas e máximas para cada Proposta. Fonte: Autor (2021). .....	106
Tabela 35 – VPL Mínimo e Máximo para cada Proposta. Fonte: Autor (2021). .....	106
Tabela 36 – Relação do VPL segundo a taxa de juros. Fonte: Autor (2021). .....	107

CRUZ, Maurício Ivan. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, março de 2021.  
**Rentabilidade econômica de três regimes de manejo de *Pinus taeda* L., em  
Dionísio Cerqueira – SC.** Dra. Maritane Prior.

## RESUMO

Há aproximadamente 4,06 bilhões de hectares de florestas no mundo, porém essa área está diminuindo anualmente. Isso acarreta impactos ambientais de escala mundial que exigem respostas imediatas. Uma das ações mais eficientes é aumentar a área de florestas plantadas e adotar estratégias de manejo e técnicas silviculturais, para restauração florestal e uso da madeira. O objetivo geral deste trabalho consistiu em realizar a avaliação econômica de três tipos de manejo florestal para um povoamento de *Pinus taeda* em uma propriedade localizada em Dionísio Cerqueira, no extremo noroeste de Santa Catarina. A proposta 1 avaliou o retorno financeiro da venda da madeira para processamento mecânico, a proposta 2 avaliou o retorno financeiro para uma floresta de 7 anos, destinando a madeira para energia na forma de cavaco e lenha, e a proposta 3 avaliou o retorno financeiro do povoamento aos 15 anos para o processamento mecânico e energia. Para isso, foi feito o inventário florestal do povoamento e, com os parâmetros dendrométricos levantados, calculou-se as relações hipsométricas, volumétricas, de afilamento e sortimentos do povoamento florestal. Ademais, com a utilização do software SisPinus, simulou-se o povoamento florestal para as três propostas estudadas. Estas propostas foram analisadas economicamente utilizando o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Relação Benefício-Custo (B/C). Dentre os resultados encontrados, constatou-se que o povoamento florestal possui um volume de madeira plantada de 506,97 m<sup>3</sup>/ha ou 5272,46 m<sup>3</sup> em toda sua área. O software SisPinus simulou com precisão o povoamento estudado, apresentando um erro de estimativa de apenas 1,78%. Conclui-se que as propostas 1 e 2 são inviáveis economicamente, evidenciando um VPL de, respectivamente R\$ -4.436,49 e R\$ -38.421,47. A proposta 3 foi considerada viável economicamente, sendo seu VPL de R\$ 11.463,38.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

**PALAVRAS-CHAVE:** inventário florestal; biomassa energética; afilamento; sortimentos;

CRUZ, Maurício Ivan. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, March, 2021.  
**Economic yield of three management regimes for *Pinus taeda* L., in Dionísio Cerqueira - SC.** Ph.D. Maritane Prior.

## **ABSTRACT**

The world has a total forest area of 4.06 billion hectares, but this area is decreasing annually. This leads to worldwide environmental impacts that require an immediate response. One of the most efficient actions is to increase the area of planted forests and adopt management strategies and silvicultural techniques for forest restoration and use of wood. The main objective of this study was to evaluate three types of forest management for a *Pinus taeda* stand in a property located in Dionísio Cerqueira, in the extreme northwest of Santa Catarina. Proposal 1 evaluated the financial return from the sale of wood for mechanical processing, proposal 2 evaluated the financial return for a 7-year-old forest, allocating the wood for energy in the form of wood chips and firewood, and proposal 3 evaluated the financial return of the population at 15 years of age for mechanical and energy processing. For this purpose, the forest inventory of the stand was made and, with the raised dendrometric parameters, the hypsometric, volumetric, tapering and assortment relations of the forest stand were calculated. Also, using the SisPinus software, the forest stand was simulated for the three studied proposals. These proposals were analyzed economically using the Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return (IRR) and the Benefit-Cost Ratio (B/C). For the results found, the forest stand has a timber volume of 506.97 m<sup>3</sup> / ha or 5272.46 m<sup>3</sup> in its entire area. The SisPinus software accurately simulated the studied population, presenting an estimate error of 1.78%. It is concluded that proposals 1 and 2 are economically unfeasible, presenting a NPV of, respectively, R\$ -4,436.49 and R\$ -38,421.47. Proposal 3 was considered economically viable, with its NPV of R\$ 11,463.38.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

**KEYWORDS:** forest inventory; biomass; tapering; assortments.

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1.	Objetivo Geral .....	2
1.2.	Objetivos Específicos .....	3
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	Silvicultura e Manejo Florestal .....	4
2.2.	Biomassa florestal e Matriz Energética .....	5
2.3.	Inventário Florestal.....	8
2.3.1.	Equações Hipsométricas .....	9
2.3.2.	Equações Volumétricas .....	9
2.3.3.	Equações de Afilamento e Sortimento.....	10
2.3.4.	Índice de Sítio .....	11
2.4.	Usos finais da Madeira de Pinus .....	11
2.5.	Avaliação Econômica .....	14
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1.	Material .....	16
3.2.	Caracterização do Local do Experimento.....	17
3.3.	Delimitação das Propostas estudadas .....	22
3.3.1.	Proposta 1 .....	23
3.3.2.	Proposta 2 .....	23
3.3.3.	Proposta 3 .....	24
3.4.	Inventário Florestal.....	24
3.4.1.	Alocação das Unidades Amostrais .....	24
3.4.2.	Medição da Circunferência a Altura do Peito (CAP) .....	26
3.4.3.	Número de Árvores por Hectare .....	28
3.4.4.	Diâmetro quadrático médio.....	29
3.4.5.	Área Seccional e Área Basal .....	29
3.4.6.	Medição das Alturas .....	30
3.4.7.	Índice de Sítio .....	31
3.4.8.	Cubagem Rigorosa.....	32
3.4.9.	Ajuste das relações hipsométricas e volumétricas .....	34
3.4.10.	Equação de Afilamento e Sortimento .....	37
3.4.11.	Volume de Sortimentos .....	38
3.5.	Simulação no Software .....	39
3.6.	Análise Econômica.....	40

3.6.1.	VPL.....	41
3.6.2.	TIR.....	42
3.6.3.	RBC.....	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.1.	Inventário Florestal.....	44
4.1.1.	Alocação das Unidades Amostrais .....	44
4.1.2.	Diâmetro a Altura do Peito (DAP) .....	45
4.1.3.	Número de Árvores por Hectare.....	57
4.1.4.	Diâmetro quadrático médio.....	58
4.1.5.	Área Basal .....	58
4.1.6.	Medida de Alturas.....	58
4.1.7.	Altura Dominante e Índice de Sítio .....	62
4.1.8.	Modelo Hipsométrico .....	64
4.1.9.	Cubagem Rigorosa.....	70
4.1.10.	Modelo Volumétrico e Volume Total.....	71
4.1.11.	Equação de Afilamento e Sortimentos .....	74
4.1.12.	Equação de Volume de Sortimentos .....	80
4.1.13.	Resumo do Inventário Florestal.....	81
4.2.	Simulação no Software .....	84
4.2.1.	Ajuste de Equações.....	84
4.2.2.	Simulação do Inventário Florestal.....	87
4.2.3.	Simulação para Idade de 7 anos .....	90
4.2.4.	Simulação dos perfis de Sortimentos .....	93
4.3.	Análise Econômica.....	97
4.3.1.	Proposta 1 .....	98
4.3.2.	Proposta 2 .....	99
4.3.3.	Proposta 3 .....	100
4.3.4.	TMA .....	101
4.3.5.	VPL.....	102
4.3.6.	TIR.....	107
4.3.7.	RBC.....	110
5.	CONCLUSÕES .....	112
5.1.	Considerações Finais.....	113
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
	APÊNDICE A.....	
	APÊNDICE B.....	
	APÊNDICE C .....	

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o relatório da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO (2020a), há aproximadamente 4,06 bilhões de hectares (ha) de área florestal no mundo, o que corresponde a cerca de 31% de toda a faixa terrestre. As florestas tropicais compõem a maior proporção de florestas, correspondendo a 45%, seguido pelas florestas boreais com 27%, temperadas com 16% e subtropicais com 11%. Mais de 54% das florestas do mundo se concentram em apenas 5 países: Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos da América e China.

As queimadas que ocorreram na Amazônia em junho de 2019, assim como as queimadas na Austrália no final do mesmo ano levantaram questionamentos sobre o papel dos governos mundiais na preservação e manutenção das florestas. Não obstante, ainda conforme o relatório da FAO (2020a), a área total de florestas no mundo está diminuindo anualmente, em ritmo desacelerado, porém, diminuindo.

Todos esses fatores acarretam impactos ambientais de escala mundial, caracterizam uma pressão que recai nos povoados florestais nativos em todo o globo e exige uma resposta imediata para encontrar soluções que venham frear, ou eliminar, o desequilíbrio ambiental que tem se armado. A resposta mais eficiente no momento tem se apresentado em estratégias de manejo florestais e técnicas silviculturais, no sentido de aumentar a área plantada de florestas, fazer a regulação climática e atender à demanda do setor florestal. Apesar dos desafios ainda a serem superados, o Brasil tem apresentado boas perspectivas no que diz respeito à silvicultura e a manutenção ambiental das florestas nativas e plantadas (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2018).

De acordo com a FAO (2020b), o consumo de madeira como combustível para cozimento e aquecimento representa um terço de todo o consumo mundial de energia renovável, sendo que mais de dois bilhões de pessoas dependem da disponibilidade deste recurso para sua sobrevivência, principalmente nos países emergentes e em desenvolvimento.

Para Schmid (2017), há uma demanda crescente por produtos florestais no Brasil, porém uma oferta que não cresce na mesma proporção. Apesar da demanda ser benéfica para o setor e manutenção dos povoados florestais, a crescente acelerada pode colocar em risco as florestas nativas e perturbar o equilíbrio ecológico

de muitas áreas. Além disso, segundo o STCP (2015), apesar da maior parte do plantio florestal comercial no Brasil ser dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, há uma preferência pelo gênero *Eucalyptus*, devido ao seu rápido desenvolvimento e qualidade.

Contudo, os povoamentos de pinus enfrentam alguns desafios. A madeira de *Pinus* ainda possui atrativo comercial inferior ao *Eucalyptus* e seu plantio ocorre em áreas de nicho, destinadas a finalidades específicas. Ademais, há um baixo estímulo do setor florestal em promover os povoamentos de *Pinus* e sua competitividade (SHIMIZU, 2008; SHIMIZU et al., 2017).

Todos estes fatores têm gerado impactos nos produtos de *Pinus* que, tal como exposto por Shimizu et al. (2017), não representaram uma substituição satisfatória da madeira de Araucária, devido ao incremento volumétrico inferior, forma de fuste e baixa qualidade físico-química da madeira. Para o STCP (2019, *apud* MASSETO, 2020), a produção de madeira é uma atividade de retorno a longo prazo, a baixa procura pela madeira de pinus em comparação ao eucalipto, tem levado a um excesso de oferta no mercado, resultando a baixa dos preços e redução dos lucros. Por isso, pequenos produtores acabaram abandonando o plantio de povoamentos florestais de pinus em substituição à atividade agrícola.

Pretende-se, com a realização deste trabalho, explorar se o plantio de *Pinus taeda* apresenta vantagem financeira na sua implementação e quais propostas de manejo são lucrativas, a fim de se avaliar seu retorno financeiro a longo prazo. Diante do cenário exposto, deseja-se confrontar a hipótese de que o manejo para fins energéticos evidenciará, ao final da vida útil do projeto, um retorno financeiro maior que o manejo atual feito pelos proprietários.

### **1.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral da pesquisa consiste em avaliar economicamente três regimes de manejo florestal para um povoamento de *Pinus taeda*, em uma propriedade localizada em Dionísio Cerqueira, no extremo noroeste de Santa Catarina.

## 1.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Realizar o inventário florestal do povoamento;
- Determinar as equações de afilamento e sortimento para o povoamento estudado
- Realizar uma simulação da produção do povoamento florestal para a idade atual e a Idade de 7 anos;
- Calcular os sortimentos em volume de madeira, para a floresta em seu estado atual e na idade de 7 anos;
- Comparar o retorno financeiro de cada proposta de manejo florestal e identificar a proposta mais lucrativa;
- Estabelecer um perfil de sortimentos para o povoamento;
- Gerar parâmetros de comparação para pequenos e médios produtores.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Silvicultura e Manejo Florestal

Apesar de possuírem significados similares, o Dicionário Michaelis (2020) define Silvicultura como sendo uma ciência, cuja finalidade é a de estudar árvores e florestas em todas as suas etapas produtivas como matéria-prima, como cultivo, reprodução e desenvolvimento, assim como suas características botânicas.

O Manejo Florestal é, por outro lado, o planejamento, avaliação de estratégias e a aplicação de técnicas silviculturais, de modo a garantir, eficiência, sustentabilidade e segurança no cultivo, produção e extração de produtos florestais madeireiros e não madeireiros (KERSHAW JR. et al., 2017a).

O manejo florestal engloba uma série de atividades de intervenção no sentido de garantir que determinado povoamento florestal atenda aos objetivos do proprietário, mas se mantenha saudável e ecologicamente correto. Estas atividades podem incluir plantios, controle de ervas daninhas, podas, desbastes, corte final para fins comerciais, entre outros. A escolha do momento ideal para a realização de cada intervenção é a principal tarefa do planejamento de manejos florestais (BETTINGER et al., 2017).

Mais que um povoamento de árvores, as florestas são o habitat de inúmeras espécies de plantas e animais. Assim como uma junção de estruturas desprovida de habitantes não compõem uma cidade, um montante de árvores solitárias não compõe um ecossistema florestal. O planejamento dos manejos florestais deve prever o mínimo de impacto possível ao ecossistema nativo de determinada região (GRODSKY; MOORMAN; RUSSEL, 2016).

Florestas plantadas e manejadas corretamente são um recurso renovável, produzindo matéria prima com o mínimo de desperdício e uso energético. Elas contribuem com a estabilidade dos ecossistemas, proporcionando diversos benefícios ambientais como conservação do solo, melhoria da qualidade da água, controle de erosão e manutenção da biodiversidade animal. Além disso, elas garantem fonte de renda adicional aos produtores, podem ser integradas às atividades agropecuárias e reduzem a pressão de desmatamento das florestas nativas (SANTAROSA; PENTEADO JÚNIOR; GOULART, 2014; BRAVO-OVIEDO; PRETZSCH; DEL RÍO, 2018).

## 2.2. Biomassa Florestal e Matriz Energética

A biomassa tem sido a fonte energética mais importante para a humanidade desde a descoberta do fogo na antiguidade. Por muito tempo, a biomassa foi a única fonte direta de energia, usada como combustível para cocção, aquecimento e iluminação e também como fonte indireta na forma de alimento para os animais. O desenvolvimento da espécie humana não teria sido possível sem o uso extensivo da biomassa como forma de energia (KALTSCHMITT, 2019).

Biomassa é um termo que se refere à matéria de origem orgânica, animal e vegetal, bem como seus derivados. Nela, estão inclusas a matéria-prima e seus resíduos. Estima-se que a quantidade de biomassa existente na Terra é da ordem de dois trilhões de toneladas. Em termos energéticos, isso corresponde a 3000 EJ por ano, ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (DINARDI, 2014).

Várias indústrias produzem biomassa como um resíduo, como a indústria agrícola, florestal, de papel e celulose, e de alimentos. Madeira, licor negro, plantios de rápida rotação, grama, palha, milho, soja, cana-de-açúcar, fécula, esterco, cama de aviários, microalgas, entre outros, são apenas alguns dos materiais que podem ser utilizados como biomassa para a geração de energia e de biocombustíveis. Cerca de 80% da biomassa utilizada para energia deriva da madeira, o restante é resultado dos diferentes resíduos provenientes do setor agrícola e seus subprodutos (VAKKILAINEN, 2017).

Existem diferentes métodos para se converter biomassa em bioenergia e seus subprodutos. Os métodos mais importantes são os térmicos, biológicos, químicos, bioquímicos e os termoquímicos, sendo eles a combustão, gaseificação, torrefação, pirólise, liquefação, carbonização, fermentação e digestão anaeróbica. O tipo de método utilizado depende do tipo de biomassa e da disponibilidade tecnológica (STREZOV; ANAWAR, 2019). A Figura 1 destaca as principais formas de conversão da biomassa.

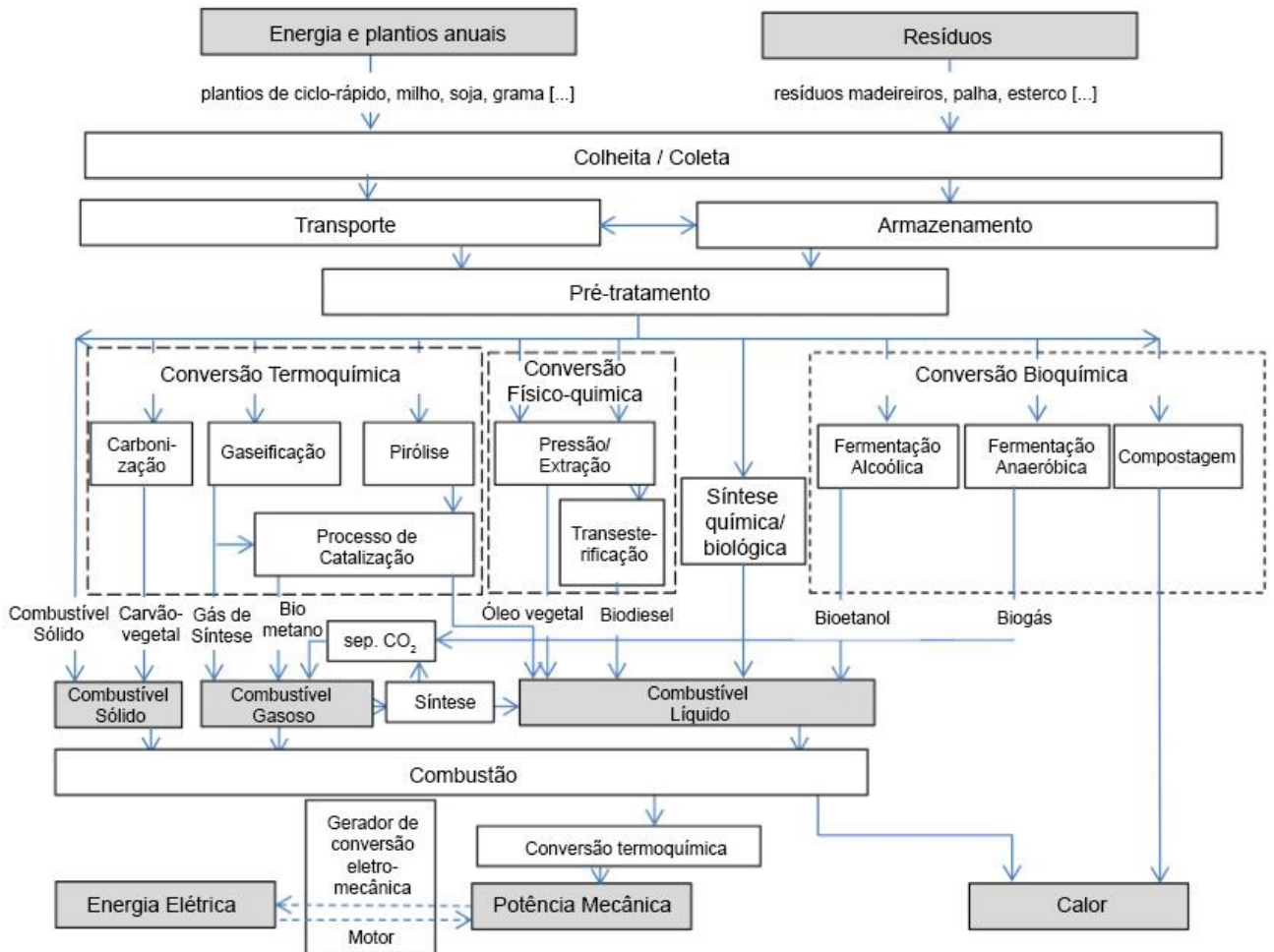


Figura 1 – Processos de conversão da biomassa em energia. Fonte: Chum (2012). Adaptado pelo autor.

A conversão térmica da biomassa é o método mais utilizado, principalmente em biocombustíveis sólidos. A técnica de combustão é a conversão oxidante do material, utilizando ar ou oxigênio, em um sistema gás-sólido. Gaseificação é a obtenção de um material combustível a partir da matéria volátil do material, podendo se adicionar ar ou oxigênio ao processo de modo a se obter gás pobre ou gás de síntese. A pirólise é a degradação térmica da biomassa, sendo a base para os processos de gaseificação, liquefação e carbonização, podendo ser rápida ou lenta. Na pirólise rápida, apenas ocorre aquecimento, mas sem adicionar ar e, assim, os componentes gasosos do material orgânico são evaporados e posteriormente condensados como hidrocarbonetos líquidos, formando um bio-óleo. A pirólise lenta, ou carbonização, é o processo de obtenção de carvão-vegetal por meio da expulsão de oxigênio da madeira e da concentração de carbono no material. Na torrefação, faz-se pirólise parcial da biomassa em estágios controlados e baixas temperaturas, de

modo a se remover alguns dos componentes gasosos, e causar a degradação da hemicelulose, resultando um material intermediário entre a biomassa e o carvão (DAHLQUIST, 2013; SILVA, 2019).

A biomassa geralmente é cultivada em larga escala quando tem finalidade energética, as chamadas culturas energéticas. As culturas com alto potencial energético têm sido amplamente incentivadas e estudadas. As principais culturas energéticas são a cana-de-açúcar, as oleaginosas (como soja e dendê) e as florestas energéticas (BELLOTTE et al, 2018).

Nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, a biomassa florestal é tradicionalmente utilizada para o cozimento e aquecimento. Em países em processo de industrialização ou desenvolvidos, essa biomassa tem outras finalidades como eletricidade, biocombustíveis no setor de transportes, ou na forma de pellets e briquetes para aquecimento ou na forma de licor negro na indústria de papel e celulose (VAKKILAINEN, 2017).

No Brasil, as principais espécies comerciais são o Eucalipto e o Pinus, compondo cerca de 90% de todo o montante florestal do país, sendo que a principal espécie utilizada para fins energéticos é o Eucalipto. Os plantios dessas espécies podem ser utilizados para alimentar usinas termoelétricas, oferecendo energia a preço competitivo, quando comparados com as fontes não-renováveis (STCP, 2015).

Na década de 1950, a madeira respondia por 75% de toda a energia consumida no Brasil. Atualmente, frente às novas tecnologias, ao foco na produção de energia elétrica e ao barateamento dos derivados de petróleo, a biomassa florestal corresponde a apenas 8,4% da matriz energética nacional. A Biomassa da cana-de-açúcar, contudo, representa 17,4% da Oferta Interna de Energia – OIE, sendo a maior participação dentro das fontes renováveis, conforme a Figura 2 (BELLOTTE et al., 2018; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2019).



Figura 2 – Repartição da Oferta Interna de Energia – OIE. Fonte: BEN, 2019.

Segundo o STCP (2015), a produção de biomassa florestal em larga escala no Brasil ainda apresenta desafios. O plantio para fins energéticos, fora do setor siderúrgico, demanda de incentivos governamentais e fiscais, além de investimento em pesquisa e tecnologia, principalmente em regiões nas quais o plantio é pouco especializado.

Apesar disso, o Brasil apresenta alto potencial para a produção de energia proveniente de biomassa, e atualmente lidera a produção de etanol. O país, ainda, pode desempenhar papel fundamental em nível continental, captando e redirecionando a energia produzida pela rede em todo o continente. Isso poderia reduzir a demanda de combustíveis fósseis em toda a América do Sul e abrir espaços para mais oportunidades de geração de energia renovável, melhorando as condições socioeconômicas do continente (STREZOV; ANAWAR, 2019).

### 2.3. Inventário Florestal

O Inventário Florestal é uma atividade que utiliza técnicas de estatística e amostragem para determinar parâmetros dendrométricos e levantar informações sobre um povoamento florestal. Um inventário florestal é realizado para se determinar fatores qualitativos e quantitativos de uma floresta como: determinação do potencial produtivo da floresta, fatores bióticos ou abióticos que influenciam a produção de madeira, custos de produção da floresta plantada, entre outras finalidades (CUNHA, 2004; INSTITUTO DE FLORESTAS DO PARANÁ - IFPR, 2016).

Os parâmetros dendrométricos, ou dados biofísicos, tem a finalidade de servir

de base para a determinação de parâmetros complexos sobre uma floresta. Entre os parâmetros dendrométricos mais comuns levantados em um inventário florestal temos os diâmetros dos troncos, alturas das árvores, idades do povoamento florestal, percentual de sobrevivência, cobertura do dossel da floresta entre outros (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB, 2019).

A maior parte dos inventários florestais será planejado para a estimativa do volume de madeira. Contudo, os parâmetros levantados como densidade, área basal, densidade de biomassa e altura dominante, abrem espaço para que um inventário tenha múltiplas finalidades, principalmente para estimar o rendimento de produtos florestais não-madeireiros. O levantamento dessas informações deve ser preciso e acurado pois são a base fundamental pela qual proprietários e planejadores fazem suas tomadas de decisões (KERSHAW JR. et al., 2017a).

### 2.3.1. Equações Hipsométricas

Durante a operação de um inventário medem-se os diâmetros de todas as árvores presentes em uma unidade amostral ou até mesmo em determinada parcela. Isso acontece, pois a medição do diâmetro é uma medida de fácil obtenção. Contudo, tratando-se da medição de alturas, apenas uma parcela das árvores das amostras é medida devido à altura ser de mais difícil obtenção. Sabe-se, porém, que há uma correlação entre a altura de uma árvore e seu diâmetro. Dessa forma, é possível processar os dados aferidos para apenas alguns indivíduos e, por meio de equações (ou modelos) hipsométricos, estimar uma equação a partir de regressões, que descrevam a altura em função do diâmetro para todas as árvores de um povoamento. Esse procedimento torna a atividade do inventário muito mais barata, além de responder bem quanto à precisão dos dados calculados, principalmente quando se analisa uma única espécie (NICOLETTI et al., 2016; VIANNA et al., 2016).

### 2.3.2. Equações Volumétricas

Similar aos modelos hipsométricos as equações (ou modelos) volumétricas objetivam a obtenção do volume de uma árvore em relação às outras variáveis do povoamento de mais fácil obtenção. Elas são consideradas ferramentas básicas e essenciais, uma vez que a obtenção do volume de madeira em um povoamento

florestal é imprescindível para a realização dos planejamentos de manejo florestal. As equações volumétricas são uma opção mais precisa para a obtenção do volume do que a utilização dos fatores de forma, uma vez que podem ser obtidas por meio do processamento e regressão dos dados de diâmetro e altura para o povoamento ou amostra estudados (CERDEIRA, 2012).

### 2.3.3. Equações de Afilamento e Sortimento

O tronco de uma árvore não descreve uma forma geométrica perfeita, do contrário, seu formato muda e se transforma ao passo que afina em direção a copa. Essa redução de diâmetro é conhecida como forma do tronco ou *taper*. A base do tronco pode assumir uma forma mais cilíndrica ou ser convexa, ao qual se assemelha a um neilóide. Essa forma pode se estender por alguns centímetros até vários metros. A partir disso até a base da copa, a árvore possui um formato de parabolóide, e da base da copa até seu topo se assemelha a um parabolóide quadrático ou cone, conforme a Figura 3 (SOUZA, 2009, KERSHAW JR et al., 2017b).

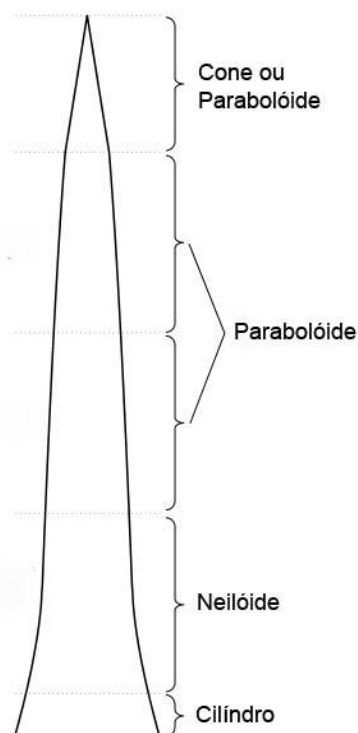


Figura 3 – Forma do tronco de uma árvore. Fonte: Kershaw Jr. et al. (2017b). Adaptado pelo autor.

As equações de afilamento são modelos volumétricos, porém que exprimem

maior precisão uma vez que descrevem o formato do tronco relacionando o diâmetro relativo ( $d_i$ ) a uma determinada altura ( $h_i$ ). Dessa forma, é possível obter diferentes volumes ao longo do tronco, podendo quantificar o número e volume de toras para produtos específicos (sortimentos) destinados aos diferentes setores da indústria (STEPKA et al., 2017).

#### 2.3.4. Índice de Sítio

O Índice de Sítio é uma medida que leva em consideração diversos fatores ligados à capacidade que um local (ou sítio) tem para que determinado povoamento florestal se desenvolva. Os fatores podem estar ligados a características físicas, químicas e mineralógicas do solo, assim como fatores climáticos, regionais e do bioma em que se localiza o povoamento florestal (OLIVEIRA et al, 1998).

Para Kershaw Jr. et al. (2017c), o índice de sítio pode ser contemplado de diferentes formas tomando como base diferentes parâmetros, dentre os quais destacam-se os métodos geocêntricos, fitocêntricos e dendrométricos. Para os autores, cada método possui processamentos únicos e pode requerer diferentes informações como qualidade do solo, clima, topografia, precipitação, umidade, diâmetro, idade, altura, volume entre outros. Os modelos de índice de Sítio mais usuais são aqueles que utilizam a aproximação dendrométrica, e relacionam a qualidade do sítio com a altura dominante do povoamento em determinada idade.

### **2.4. Usos finais da Madeira de Pinus**

Em 2018, o setor florestal apresentou um superávit de 13,1% em relação ao ano anterior. Ou seja, há uma demanda crescente pelos produtos florestais seja para finalidades construtivas, setoriais ou energéticas. Os produtos de origem florestal podem ser madeireiros ou não madeireiros. Como subprodutos, pode-se elencar os mais usuais como toras de madeira, painéis, compensados e biomassa energética, porém eles possuem uma gama muito mais ampla de aplicação, podendo estar em molhos, xaropes, creme de leite, sucos, ração, fármacos, tecidos, cosméticos, fraldas, tinturas, vernizes, adesivos, solventes, fibras de carbono entre muitos outros (IBÁ, 2019). A Figura 4 mostra uma esquematização da origem, processamento e destino



dos produtos florestais.

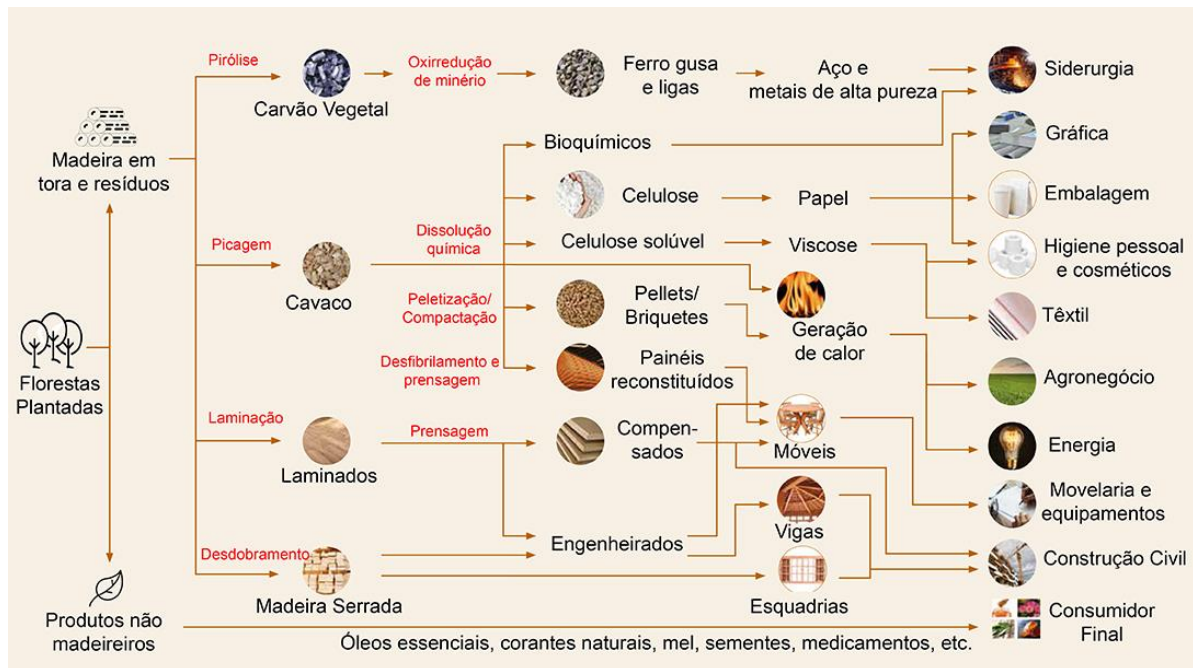


Figura 4 – Produtos florestais. Fonte: IBÁ, 2019. Adaptado pelo autor.

Nos últimos anos, os plantios comerciais estão destinados a atender a demanda industrial e à produção de matéria-prima. Tais plantios são de espécies de rápido crescimento, especialmente *Pinus* e *Eucalyptus*, que têm apresentado uma boa adaptação às condições endofoclimáticas brasileiras (LAMBERT, 2018). O Setor comercial tem uma preferência pelo *Eucalyptus*, devido à sua rápida maturação, fácil adaptação e rendimento de madeira (STCP, 2015). Contudo, as árvores de *Pinus* têm se mostrado uma opção tão lucrativa quanto, principalmente em locais de solos rochosos, rasos, ou de intensa produção de papel, celulose e da indústria moveleira (SHIMIZU et al., 2017). Apesar disso, o uso da madeira de *Pinus* como biomassa energética tem se mostrado rentável e competitiva frente ao *Eucalyptus*. Devido ao seu alto teor de lignina, o *Pinus* tem um poder calorífico superior ao *Eucalyptus* e é uma excelente opção para a produção de cavaco, dada a facilidade de seu processamento e desdobro. (STCP, 2015). A Tabela 1 evidencia a relação entre o poder calorífico e o teor de lignina das duas espécies.

Tabela 1 – Comparação entre o Teor de Lignina e o Poder Calorífico do Pinus e Eucalipto.  
 Fonte: Horst (2013). Elaborado por STCP (2015), adaptado pelo autor.

Material	Teor de Lignina (%)	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
Madeira de <i>Eucalyptus</i>	25,8	4.626
Madeira de <i>Pinus</i>	31,6	4.721

As espécies de *Pinus* vem sendo plantadas no Brasil há mais de um século. Seu plantio se difundiu com maior intensidade a partir dos anos 1960, quando extensas áreas da região Sul e Sudeste foram plantadas com *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Acredita-se que essas duas espécies se destacaram em razão de sua facilidade nos tratos culturais, rápido crescimento e resistência às condições extremas do clima, como geadas e escassez hídrica (SHIMIZU, 2008).

Por conta do seu potencial produtivo de madeira e produtos não madeireiros, os povoamentos de *Pinus* manejados no Brasil são uma solução para atender demandas de produtos florestais e reduzir a pressão às reservas de florestas nativas. Seu manejo destina-se ao processamento mecânico (madeira serrada, laminada e chapas) biomassa energética, além da produção de madeira destinada às indústrias de celulose de fibra longa no caso do *Pinus taeda* e extração da resina no caso do *Pinus elliottii* (MURARA JUNIOR; ROCHA; TRUGILHO, 2013; SHIMIZU et al., 2017).

O processamento mecânico da madeira visa à obtenção de madeira serrada, laminada ou em chapas. Os subprodutos da madeira processada mecanicamente são destinados à construção civil e a indústria moveleira (SHIMIZU et al., 2017). A qualidade do material é avaliada visualmente em função da presença de esmoados, empenamentos, nós e bolsas de resina e precisa atender os requisitos mínimos de qualidade estabelecido pelas normas (MISSIO et al., 2015).

Os cavacos são produzidos por meio de um picador, que processa a madeira em um material de menor tamanho. Os cavacos podem ser produzidos a partir dos resíduos madeireiros de outras atividades, ou de toras destinadas a essa finalidade. Eles podem ser “sujos” (quando possuem casca) ou “limpos” (quando não possuem casca). Eles possuem um baixo custo de processamento e são uma alternativa amplamente utilizada na indústria, como biomassa, para a produção de energia (STCP, 2015).

## 2.5. Avaliação Econômica

Em projetos de Engenharia, a importância da avaliação econômica é dobrada. Em primeiro plano, engenheiros lidam com projetos multidisciplinares, os quais englobam diferentes dimensões do conhecimento, incluindo financiamentos, construção, operação, estética, manutenção e durabilidade. Em segundo plano, a análise econômica é importante para estabelecer padrões segundo perspectivas tradicionais das relações de negócios, como análise de alternativas, custos de ciclo-de-vida, análise de riscos e assim por diante. Em ambos os casos, uma compreensão detalhada de cada projeto de engenharia é necessária, de modo que um projeto se mantenha competitivo no cenário atual do mercado (FARR; FABER, 2019a).

Parte fundamental de uma análise econômica é considerar que o retorno está ligado à moeda e seu comportamento no tempo. É diferente de uma simples operação algébrica, que apresenta resultados momentâneos e inalteráveis. Quando se trata do valor do dinheiro, ele possui valor temporal, e depende de seu valor nominal e a data na qual um determinado pagamento ou investimento é efetuado. O dinheiro hoje tem mais valor do que teria daqui um ano, de modo que uma determinada quantia hoje valerá mais do que a mesma quantia no futuro (KONSTANTIN; KONSTANTIN, 2018).

Tendo em conta que o dinheiro possui valor temporal, existem diferentes formas de se comparar projetos e seus retornos financeiros futuros. O Valor Presente Líquido (VPL) é uma técnica da engenharia econômica que calcula o valor de diferentes fluxos de caixa, em diferentes anos de um projeto, e transforma-os em seu valor equivalente no ano 0, ou presente. Os fluxos de caixa sofrem desconto segundo as taxas de juros impostas sobre a moeda naquele período. Um projeto é apontado viável quando seu VPL é superior a 0, indiferente quando é igual a 0 e inviável quando é negativo. Diferentes projetos podem ser comparados com o VPL, uma vez que suas características sejam similares e eles possuam o mesmo período de duração (FARR; FABER, 2019b).

Outra forma de comparação muito utilizada pelo mercado financeiro é a Taxa Interna de Retorno (TIR). A TIR consiste em igualar o valor presente das entradas (ou receitas) ao valor presente das saídas (ou custos), ou seja, ela analisa a taxa de juros necessária para que o VPL de um projeto seja 0. É possível comparar a TIR com a

Taxa Mínima de Atratividade - TMA de modo que, se a TIR for maior que a TMA, o projeto é viável, se for igual é indiferente, e se a TIR for inferior a TMA, o projeto é inviável (DINARDI, 2014).

A TMA consiste na taxa mínima de retorno que uma empresa está disposta a aceitar antes de dar início a determinado projeto, dados seus riscos e o custo de abrir mão de outros projetos. Ela também representa a taxa com que uma empresa investe dinheiro de seu montante de investimento. Quando se trata de um investimento financiado pelo banco ou unicamente de recursos próprios, a TMA reflete a taxa de juros adotada pelo banco, seja para a aplicação do mesmo valor investido em um fundo qualquer, ou a taxa de juros para o empréstimo daquele determinado valor (FARR; FABER, 2019c).

Há ainda uma terceira forma de comparar projetos, utilizando uma técnica da Engenharia Econômica que avalia o potencial de um projeto frente aos seus benefícios e aos seus custos, a chamada Relação Benefício-Custo (RBC). A RBC é uma técnica normalmente optada por grandes empresas e órgãos públicos pois estabelece a razão entre os ganhos e os gastos de determinado projeto. A análise econômica da relação benefício-custo é usada em conjunto com técnicas de análise do valor presente, uma vez que os custos e benefícios de cada alternativa precisam estar em termos equivalentes antes de serem comparados para determinar qual alternativa tem a maior relação benefício-custo. Se o RBC de um projeto é maior que 1, ele é tido como viável, se é igual a 1 é indiferente e se é inferior a 1 ele é inviável (YATES, 2017).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Material

Para a realização dos levantamentos e cálculos aplicados neste projeto, foram utilizados os seguintes materiais:

**Clinômetro Haglöf Sweden ECII D:** O Clinômetro Haglöf (Figura 5) foi utilizado para a medição das alturas das árvores do povoamento florestal. O Clinômetro Haglöf realiza medições de ângulos entre  $-55^{\circ}$  e  $+85^{\circ}$  e alturas entre 0 e 999,9 metros com uma precisão de  $\pm 0,1^{\circ}$  e  $\pm 0,1\text{m}$ .



Figura 5 – Clinômetro Haglöf Sweden ECII D. Fonte: Haglof Sweden (2021).

**Trena aberta de 50 metros:** A Trena de 50 metros foi empregue na medição de grandes distâncias, principalmente para determinação das dimensões das unidades amostrais. A Trena utilizada possui precisão de  $\pm 0,05\text{ cm}$ .



Figura 6 – Trena aberta de 50 metros. Fonte: Brasfort (2021).

**Trena de 10 metros:** A Trena de 10 metros foi usada para a medição de distâncias intermediárias, principalmente para determinar o afastamento horizontal

para a medição das alturas. A Trena utilizada possui precisão de  $\pm 0,05$  cm.

**Fita Métrica de 150 centímetros:** A fita métrica foi empregada na medição das Circunferências a Altura do Peito das Árvores. A fita métrica utilizada possui precisão de  $\pm 0,05$  mm.

**Software R:** O Software R foi aplicado para o cálculo de regressões lineares, múltiplas e polinomiais. Além disso, foi empregado na confecção de gráficos e para a determinação de variáveis estatísticas ligadas aos modelos estudados.

**Software SisPinus:** O Software SisPinus (OLIVEIRA, 2021), desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, foi utilizado para as simulações do povoamento florestal. Ele foi empregue no cálculo dos coeficientes da integral da fórmula de sortimentos e para o cálculo dos volumes e sortimentos do povoamento florestal nas propostas estudadas.

### 3.2. Caracterização do Local do Experimento

O estudo será realizado em uma propriedade localizada em Dionísio Cerqueira, no extremo Noroeste do Estado de Santa Catarina, situada nas coordenadas  $26^{\circ} 15' 18''$  de latitude Sul e  $53^{\circ} 38' 23''$  de longitude Oeste. Na Figura 7, é possível verificar a localização do município.

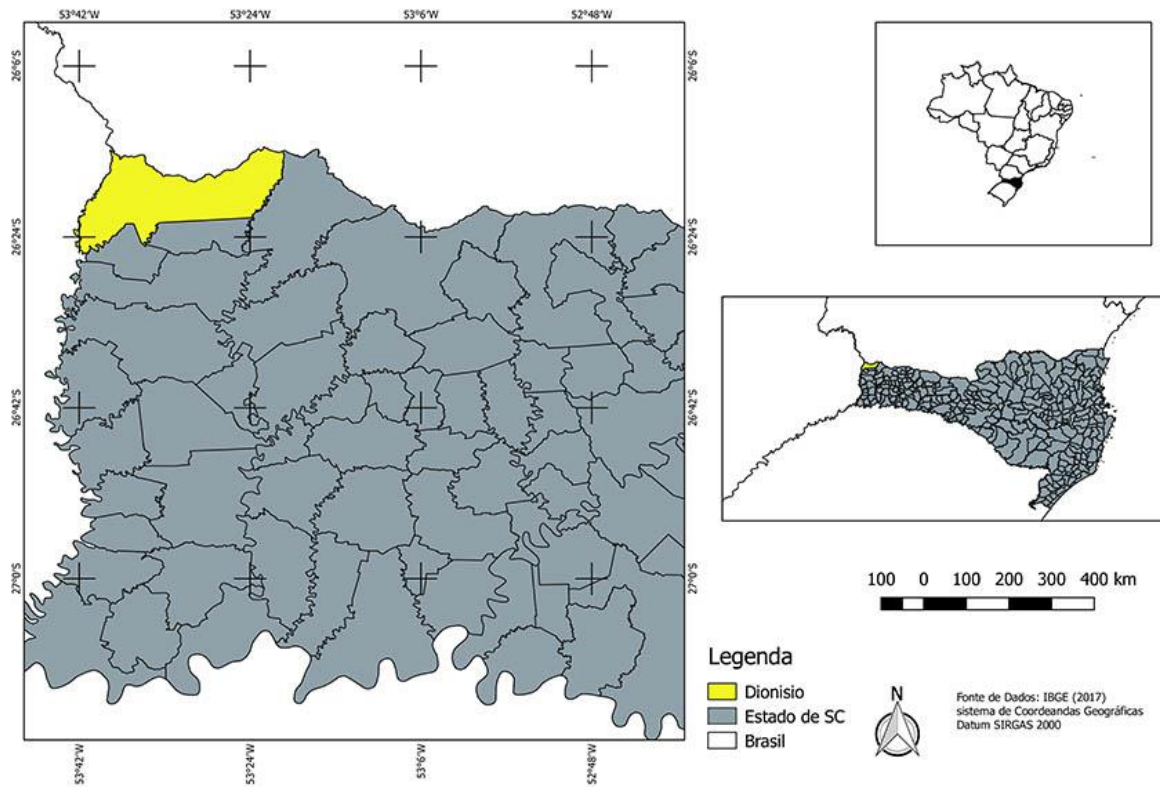


Figura 7 - Dionísio Cerqueira - SC. Fonte: Autor (2021).

A propriedade está situada na Linha Tracutinga, interior do município, e possui uma área de aproximadamente 23,49 ha. Na propriedade, estão plantados um montante de aproximadamente 25.000 árvores de diferentes espécies, entre elas árvores frutíferas, Araucárias, Eucaliptos e Pinus. A Figura 8 apresenta a delimitação da propriedade, destacado na cor vermelha.

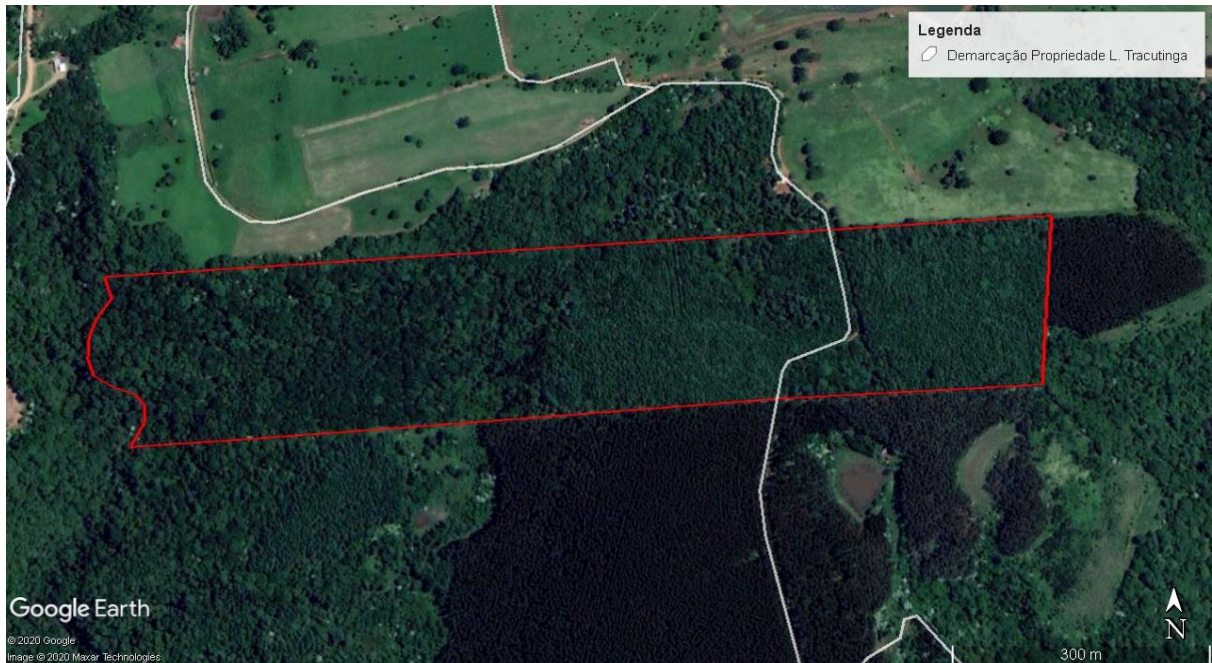


Figura 8 - Delimitação da Propriedade. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor.

Foram plantados um total aproximado de 8.000 araucárias (*Araucaria angustifolia*), 1.000 eucaliptos (*Eucalyptus dunnii*) e 16.000 pinus (*Pinus taeda*). Os Pinus plantados na propriedade, estão concentrados em área de 10,4 há (Figura 9), destacado na cor amarela. As demais árvores presentes na propriedade são de mata nativa, anterior ao início do plantio.

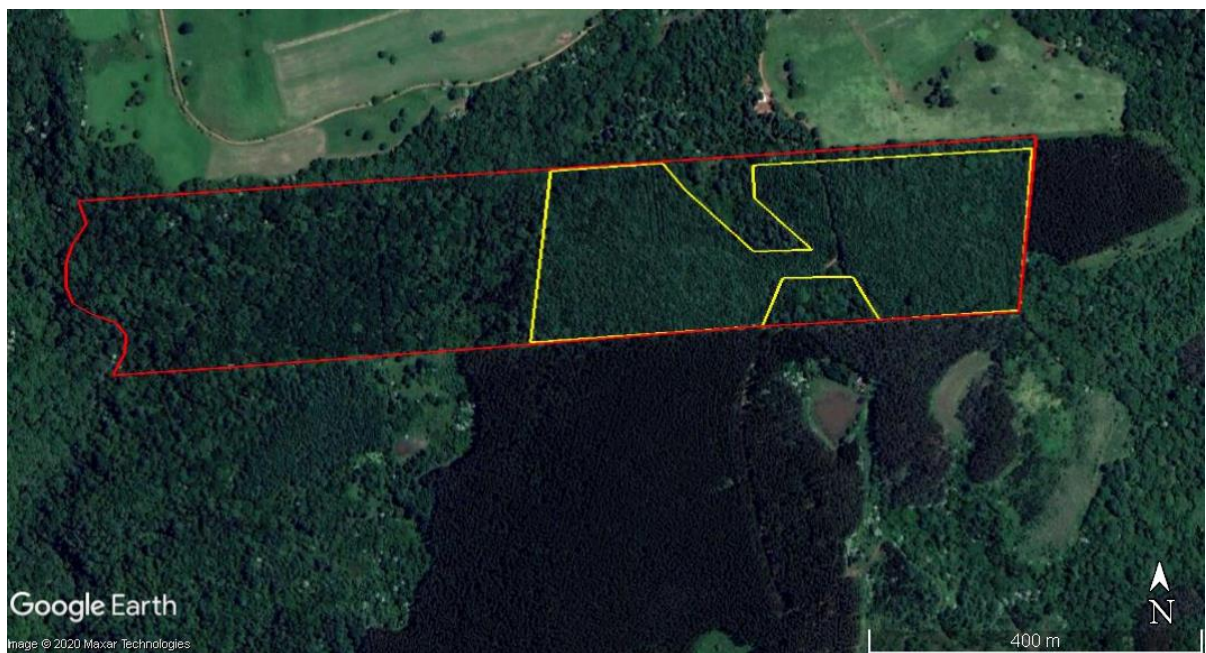


Figura 9 - Plantação de pinus na propriedade. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor.

Os *Pinus* foram plantados inicialmente no ano de 2005 com cedro australiano



(*Toona ciliata*). O plantio foi espaçado num formato 2 x 3 metros, intercalando as espécies a cada 2 metros. O plantio inicial, em 2005, não contemplou a área total delimitada na Figura 9. A área plantada inicialmente possuía outra configuração (Figura 10), delimitada na cor magenta:



Figura 10 - Área de plantio inicial. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor.

Contudo, no inverno de 2007, em virtude de condições climáticas adversas, a ocorrência de baixas temperaturas na região, proporcionou a morte das árvores de cedro, deixando apenas a espécie de pinus intacto, que resistiu às baixas temperaturas, alterando a configuração do plantio para um formato de 4 x 3 metros. Em meados de novembro de 2007, foi introduzido o plantio de *Pinus taeda* novamente em substituição aos cedros australianos, retornando à configuração de 2 x 3 metros. Além disso os proprietários plantaram pinus, na mesma época, no restante da área delimitada. No espaço, foi plantado apenas *Pinus taeda* em um espaçamento de 2 x 3 metros, sendo representado pela porção em azul na Figura 11 a seguir:



Figura 11 - Delimitação das áreas plantadas na propriedade. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor (2020).

Contudo, os pinus plantados em 2005 já apresentavam uma altura considerável, o que inibiu o crescimento daqueles plantado em 2007. Além disso, anterior ao plantio em 2005, existiam algumas árvores de vegetação nativa na área, as quais foram mantidas mesmo após o plantio. Estes fatores geraram uma configuração heterogênea na floresta, havendo locais onde as árvores não conseguiram se desenvolver adequadamente, ou até mesmo morreram devido ao sombreamento e a falta de nutrientes. A Figura 12 e Figura 13 apresentam estes detalhes. Nesse período, não foram realizados desbastes na floresta. Foi realizado uma poda nos pinus no ano de 2007 antes do novo plantio, e novamente nos anos de 2009, 2012 e 2015.



Figura 12 – Subdesenvolvimento do pinus. Fonte: Autor (2020).



Figura 13 – Morte de árvores devido ao sombreamento e competição por nutrientes. Fonte: Autor (2020).

### 3.3. Delimitação das Propostas Estudadas

O objetivo desta pesquisa consistiu em estudar três propostas de manejo florestal para o povoamento de *Pinus taeda*, compará-los e definir qual proposta indica

o melhor retorno financeiro para os proprietários. Devido à configuração heterogênea, o povoamento de pinus foi classificado como tendo 15 anos de idade. Além disso, foi considerado para fins da avaliação financeira, que o mercado regional foi capaz de absorver todo o montante vendido, uma vez que foi avaliado apenas o potencial de retorno financeiro do povoamento sem atentar-se às variações de preço, demanda e oferta mensais ou anuais.

### 3.3.1. Proposta 1

A primeira proposta levou em conta o manejo que está sendo realizado atualmente pelos proprietários, com a finalidade de vender a madeira para serrarias que destinam a madeira para confecção de tábuas e elementos da construção civil. A proposta 1 consistiu em avaliar o volume, em m<sup>3</sup>, de madeira plantada em seu estado atual e calcular o retorno financeiro da venda das toras para serrarias, para o processamento mecânico. Foram inclusos na planilha de gastos os valores referentes a preparo do solo, aquisição e plantio das mudas assim como os valores referentes a mão de obra para o corte e derrubada das árvores.

### 3.3.2. Proposta 2

A segunda proposta buscou avaliar o retorno financeiro caso o manejo feito simule uma floresta energética para a produção de cavaco. Esta proposta consistiu em utilizar os parâmetros dendrométricos levantados a partir do Inventário florestal e, com o auxílio do software SisPinus, simular o volume em m<sup>3</sup> de madeira plantada, para uma floresta de 7 anos, com a finalidade de venda para produção de cavaco.

A proposta 2 levou em conta um projeto com duração total de 15 anos, sendo o retorno financeiro total no 15<sup>o</sup> ano após terem sido feitos 2 ciclos completos de 7 anos cada. Foi tido como ano 0 o ano de aquisição e plantio das primeiras mudas, sendo feito o corte raso e a venda no ano 7. Avaliou-se que no ano 8 a terra apresenta as mesmas condições do ano 0, sendo assim, é feita a aquisição de novas mudas, preparo do solo e plantio e simula-se o corte final no ano 15. O 2<sup>o</sup> ciclo finaliza no 15<sup>o</sup> ano, onde será recebido o montante final e calculado o rendimento financeiro da proposta como um todo. Foram inclusos na planilha de gastos os valores referentes a

preparo do solo, aquisição e plantio das mudas para cada ciclo.

### 3.3.3. Proposta 3

A proposta 3 simulou a floresta com 15 anos de idade, porém a finalidade desta proposta é avaliar o retorno financeiro da venda dos sortimentos da floresta para ambas finalidades: processamento mecânico e biomassa energética. O objetivo dessa proposta não é o de confrontar a hipótese levantada. Sua finalidade é a de traçar um perfil de produção e venda do povoamento a fim de se criar parâmetros para pequenos e médios produtores.

## 3.4. Inventário Florestal

Para o levantamento do volume de madeira e sortimentos da floresta, foi realizado o Inventário Florestal do povoamento com base na metodologia proposta pelo Instituto de Florestas do Paraná – IFPR (2016) para povoamentos de *Pinus spp.*

### 3.4.1. Alocação das Unidades Amostrais

Iniciou-se o procedimento do Inventário fazendo a alocação das Unidades Amostrais (U.A.). Devido a propriedade possuir uma configuração naturalmente estratificada em virtude da idade das árvores, local dos plantios, e a presença da estrada (Figura 14), foram alocadas, inicialmente, 4 unidades amostrais na propriedade, sendo uma para cada estrato.



Figura 14 - Subdivisão dos 4 estratos florestais. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor.

Foi adotada uma amostragem aleatória estratificada e, para isso, desenhou-se uma malha de pontos espaçados de 20x30 metros em cada estrato, evitando-se as bordas. Contou-se a quantidade de pontos em cada estrato e sorteou-se um número referente a localização da parcela no estrato.

Após verificação inicial da localização das 4 parcelas sorteadas, percebeu-se que as unidades amostrais não descreviam de forma adequada a distribuição do povoamento florestal. Uma vez que os estratos 2 e 3 possuem características similares entre si, e correspondem a pouco mais de 15% da área total do povoamento florestal, foi feita uma tomada de decisão para se alterar a distribuição das parcelas. Estabeleceu-se que a parcela do estrato 3 seria mantida enquanto a parcela do estrato 2 foi retirada e feito o sorteio de uma nova parcela no estrato 4. Assim, 3 parcelas corresponderiam a maior porcentagem do povoamento enquanto 1 parcela seria correspondente aos estratos 2 e 3.

O IFPR recomenda que o tamanho ideal para a parcela amostral seja de no mínimo 20 x 30 metros. Todas as árvores na borda das unidades amostrais foram marcadas com tinta branca para facilitar sua identificação. A estrada foi a referência para a tomada de dados e para o georreferenciamento de cada unidade amostral. A Figura 15 representa a alocação de uma unidade amostral.

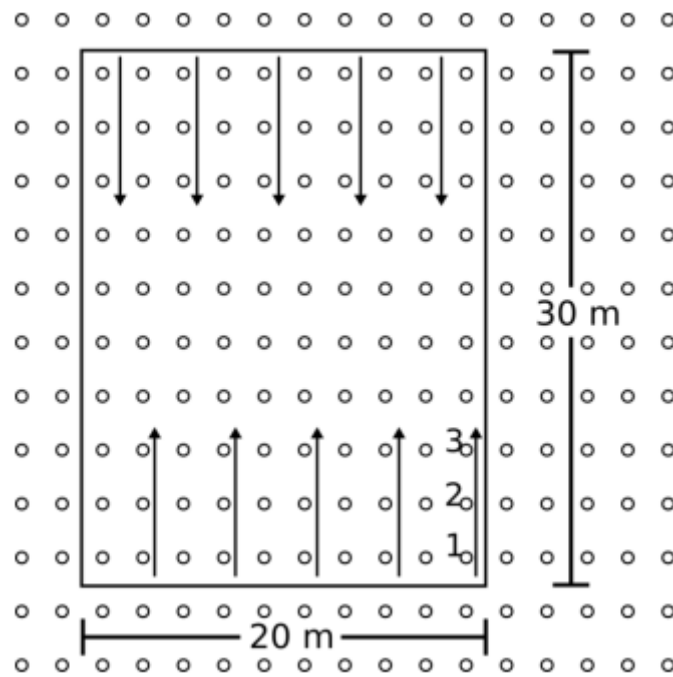


Figura 15 - Alocação de uma unidade amostral. Fonte: Instituto de Florestas do Paraná (2016).

#### 3.4.2. Medição da Circunferência a Altura do Peito (CAP)

Dada a alocação de cada unidade amostral, foram efetuadas as medições da Circunferência à Altura do Peito (CAP). Para esta medida, mediu-se a circunferência do tronco na altura de 1,3 metros com uma fita métrica de 150 centímetros (Figura 16).



Figura 16 – Medição de CAP utilizando fita métrica de 150 cm. Fonte: Autor (2020).

Contudo, as árvores podem apresentar diferentes configurações no seu tronco, como bifurcações, deformações ou inclinação, de modo que a medição foi feita levando em consideração estes detalhes, (Figura 17). Os CAP de todas as árvores da unidade amostral foram medidos em centímetros, considerando-se uma casa decimal após a vírgula. O Diâmetro à Altura do peito (DAP) foi, então, calculado segundo a Equação 1.

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Equação 1



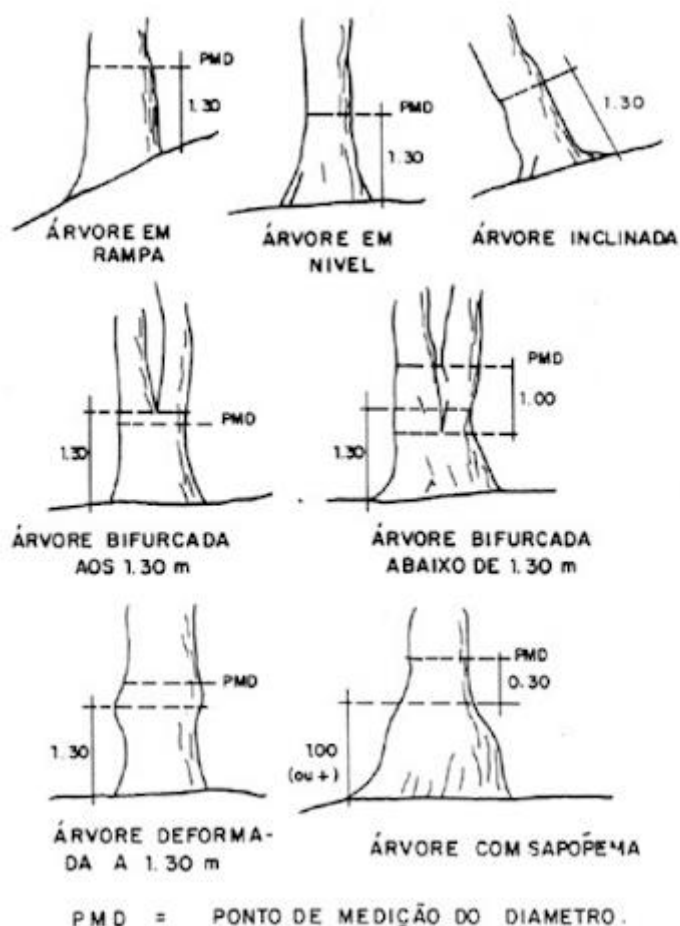


Figura 17 – Medição do DAP. Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2003).

### 3.4.3. Número de Árvores por Hectare

O Número de Árvores por Hectare é o número de indivíduos de uma ou mais espécies que compõe um povoamento florestal em um hectare. Essa medida pode ser calculada a partir dos dados extraídos das unidades amostrais. O número de árvores por hectare, ou densidade, pode ser calculado pela Equação 2.

$$d = \frac{N}{A} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

d = densidade (árvores/ha);

N = Número de árvores contabilizadas nas unidades amostrais;

A = Área total das unidades amostrais (ha);

#### 3.4.4. Diâmetro quadrático médio

Será determinado de acordo com a metodologia descrita por Kershaw Jr. et al. (2017c) cujo cálculo do diâmetro quadrático médio ( $\bar{d}_Q$ ), é feito em função do DAP e do número de árvores medidas e pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\bar{d}_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n DAP_i^2}{n}} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

$\bar{d}_Q$  = diâmetro quadrado médio (cm);

$DAP_i$  = Diâmetro à Altura do Peito da i-ésima árvore (cm);

$n$  = número de árvores medidas.

#### 3.4.5. Área Seccional e Área Basal

A área basal ( $G$ ) é a razão entre a soma da área seccional ( $g$ ) de todas as árvores medidas e a área das unidades amostrais. A área seccional ( $g$ ) pode ser calculada pela Equação 4.

$$g = \frac{\pi * DAP^2}{4000} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

$g$  = área seccional (m<sup>2</sup>);

$DAP$  = Diâmetro a altura do peito da i-ésima árvore (cm).

Dessa forma, a Área Basal é representada segundo a Equação 5:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{A} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

$G$  = área basal ( $m^2/ha$ );

$g_i$  = Área seccional da  $i$ -ésima árvore ( $m^2$ );

DAP = Diâmetro a altura do peito da  $i$ -ésima árvore (cm)

$A$  = Área total das unidades amostrais.

### 3.4.6. Medição das Alturas

Após a medida do CAP, mediu-se a altura das 20 árvores iniciais de cada unidade amostral. Utilizou-se um Clinômetro Haglof ECII, sendo levado em conta a ocorrência ou não de inclinação do tronco ou o desnível no terreno, (Figura 18 – dimensões ilustrativas). As alturas foram tomadas a uma distância de 6 metros de cada árvore, sendo considerada uma casa decimal após a vírgula.

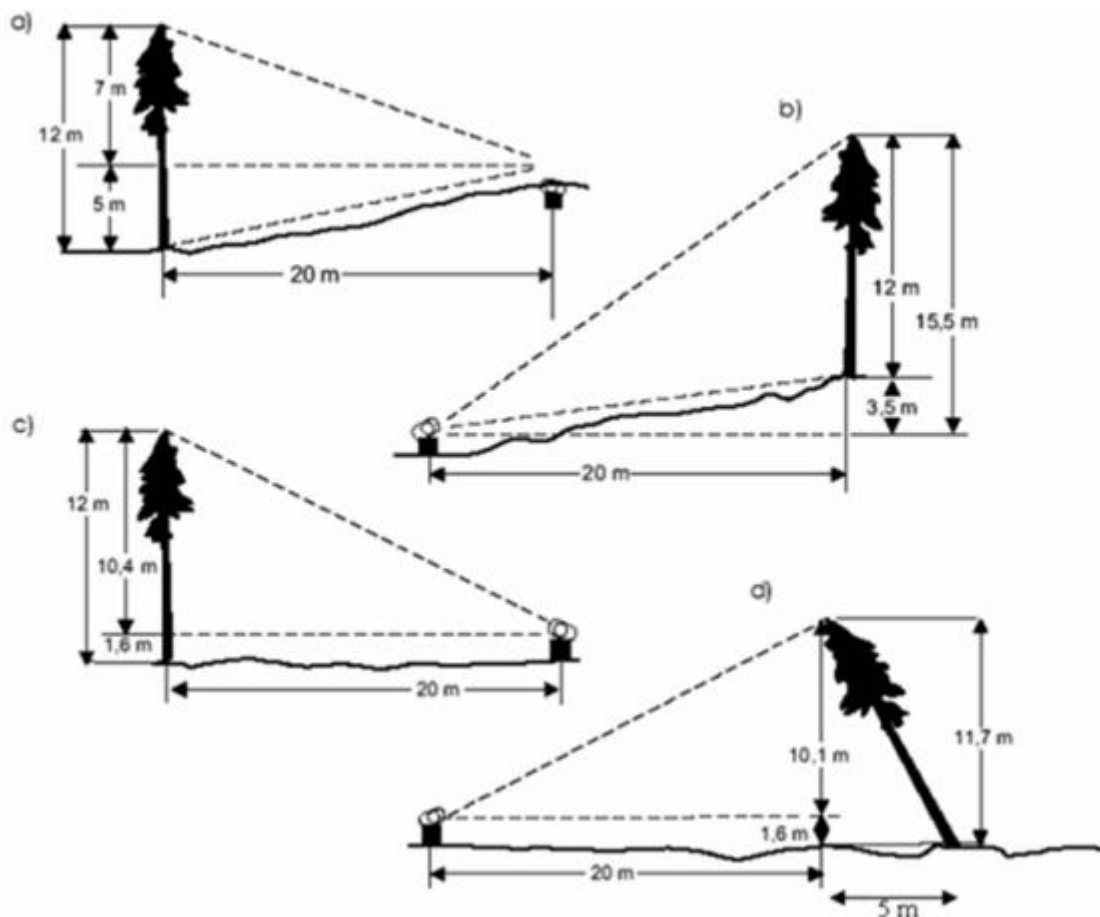


Figura 18 – Procedimento para medição de altura das árvores. Fonte: Instituto de Florestas

do Paraná (2016).

Seguindo o mesmo procedimento, foram medidas as alturas das seis árvores de maior CAP e livres de defeito de cada uma das unidades amostrais a fim de se obter a altura dominante do povoamento. A proporção de medida utilizada foi de 6 árvores para 600 m<sup>2</sup> de área amostral. A altura dominante pode então ser calculada segundo a Equação 6.

$$H_D = \frac{\sum_{i=1}^n h_{i-dom}}{n} \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

$H_D$  = Altura Dominante (m);

$h_{i-dom}$  = Altura da i-ésima árvore dominante (m);

$n$  = número total de árvores dominantes.

#### 3.4.7. Índice de Sítio

O Índice de Sítio leva em conta a altura dominante do povoamento florestal e a idade do povoamento. Uma vez que, para a determinação de um modelo de índice de sítio confiável para a propriedade estudada seriam necessários dados de várias árvores e em diferentes idades, foi utilizado para esta pesquisa um modelo já estudado. O modelo de Índice de Sítio para o *Pinus taeda*, empregado nessa proposta será aquele levantado na pesquisa de Oliveira, Oliveira e Hafley (1990), quando elaboraram tabelas e curvas de classificação de sítio para povoamentos de *Pinus taeda* na região Sul do Brasil, tomando como referência a Idade de 15 anos, representado pela Equação 7.

$$H_{est} = H_D \times \left\{ e^{-5,22036037 \left[ \left( \frac{1}{I} \right)^{0,36} - 0,3772308 \right]} \right\} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

$H_{est}$  = Altura estimada para determinada idade (m);

$H_d$  = Altura dominante das árvores para a Idade de 15 anos (m);

$e$  = Constante de Euler;

$I$  = Idade do povoamento florestal (anos).

Onde, devido à relação anamórfica da equação de sítio, diz-se que para a idade de 15 anos, o índice de sítio ( $S$ ) é igual a Altura dominante ( $H_D$ ), uma vez que para a idade de 15 anos,  $H_{est} = H_D$ .

#### 3.4.8. Cubagem Rigorosa

Determinadas as alturas, realizou-se a cubagem rigorosa das árvores. Para esta etapa, foram derrubadas 3 árvores de cada estrato, tendo em vista o CAP médio das árvores de cada parcela. Foram medidos o CAP e Altura de cada árvore em pé. Após a derrubada, cada árvore foi seccionada em toras de 3 em 3 metros e utilizou-se o método de Smalian para a determinação do volume de cada tora.

Segundo Lima (2015), o método de Smalian consiste na medição dos diâmetros das duas seções da tora, a partir dos quais se calcula a área seccional ( $g$ ) de cada seção e toma-se a média. Multiplica-se este valor pelo comprimento da tora conforme a Equação 8. O método de Smalian considera o volume da ponta como um cone, sendo que o volume final foi calculado conforme a Equação 10.

$$V_i = \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) * L \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

$V_i$  = Volume da  $i$ -ésima tora ( $m^3$ );

$g_1$  = Área seccional da base da tora ( $m^2$ );

$g_2$  = Área seccional do topo da tora ( $m^2$ );

$L$  = Comprimento da tora (m).

$$V_p = \frac{g_p * L_p}{3} \quad \text{Equação 9}$$

Em que:

$V_p$  = Volume da ponta ( $m^3$ );

$g_p$  = Área seccional da base da ponta ( $m^2$ );

$L_p$  = Comprimento da ponta (m).

$$V_T = \left( \sum_{i=1}^n V_i \right) + V_p$$

Equação 10

Em que:

$V_T$  = Volume total da árvore ( $m^3$ )

$V_i$  = Volume da  $i$ -ésima tora ( $m^3$ );

$V_p$  = Volume da ponta ( $m^3$ );

$n$  = número de toras;

Para o cálculo do volume, foram tomados os diâmetros com casca e com uma casa após a vírgula. Foram feitas também algumas ponderações com base nas árvores derrubadas. De acordo com a Figura 19, o corte no tronco foi realizado o mais próximo do chão. Logo, a altura do toco foi desprezada para considerar a altura da árvore e comprimento das toras.



Figura 19 – Detalhe do corte realizado para cubagem. Fonte: Autor (2020).

Além disso, no ato da derrubada, algumas árvores enroscaram sua copa nos galhos de árvores próximas quebrando a ponta da copa. Nesses casos, para o cálculo do volume da árvore, a copa quebrada foi tida como um cone com dimensões maiores de 3 metros. A Figura 20 apresenta detalhes dessa ocorrência.



Figura 20 – Ocorrência da quebra da ponta durante o abatimento. Fonte: Autor (2020).

### 3.4.9. Ajuste das relações hipsométricas e volumétricas

Uma vez que foi medida a altura e volume de apenas uma parte das árvores em cada unidade amostral, foi necessário utilizar modelos de ajuste hipsométricos e de volume para estabelecer a altura e volume das demais árvores das parcelas. Os modelos hipsométricos testados foram:

$$\text{Stofells:} \quad \ln H = \beta_0 + \beta_1 \times \ln DAP \quad \text{Equação 11}$$

$$\text{Curtis:} \quad \ln H = \beta_0 + \beta_1 \times 1/DAP \quad \text{Equação 12}$$

$$\text{Henriksen:} \quad H = \beta_0 + \beta_1 \times \ln DAP \quad \text{Equação 13}$$

$$\text{Prodan:} \quad H - 1,3 = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \times DAP + \beta_2 \times DAP^2} \quad \text{Equação 14}$$

Em que:

Ln = Logaritmo Neperiano;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = Coeficientes do Modelo;

DAP = Diâmetro à Altura do Peito (cm);

H = Altura da árvore (m).

Para se fazer o ajuste hipsométrico dentre os modelos, é necessário fazer

uma regressão linear dos dados coletados. Para isso, faz-se a transformação dos dados de modo a se obter uma equação de regressão linear padrão, tal como a Equação 15.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 \quad \text{Equação 15}$$

Contudo, vale ressaltar que o modelo de Prodan é um modelo não-linear, similar a um modelo parabólico, sendo necessário ajustar a equação de modo que ela imitasse um modelo polinomial de segunda ordem, conforme apresentado a seguir:

$$H - 1,3 = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \times DAP + \beta_2 \times DAP^2} \rightarrow$$

$$\frac{DAP^2}{(H - 1,3)} = \beta_0 + \beta_1 \times DAP + \beta_2 \times DAP^2 \rightarrow$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2^2$$

Garosi, Gorestein e Gomes (2008) e IFPR (2016) apontam que, para a seleção do modelo hipsométrico mais adequado, avalia-se o gráfico de dispersão de resíduos, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão residual ( $Sy_x$ ).

Para Garosi, Gorestein e Gomes (2008), no gráfico de dispersão dos resíduos observa-se se não está ocorrendo variância heterogênea (heteroscedasticidade), assim como se há tendência no modelo testado.

O Coeficiente de Determinação  $R^2$ , expresso em porcentagem, analisa a variação dos dados em torno da média e, quanto mais próximo o valor de 100, maior é a precisão da equação. O Coeficiente de Determinação  $R^2$  pode ser calculado pela Equação 16.

$$R^2 = \frac{SQM}{SQT} \times 100 \quad \text{Equação 16}$$

Em que:

$R^2$  = Coeficiente de Determinação (%);



SQM = Soma do Quadrado do Modelo;

SQT = Soma de Quadrados Totais.

Ainda segundo Garosi, Gorestein e Gomes (2008), quanto menor o Erro Padrão da Estimativa ( $S_{yx}$ ), menor será o erro associado ao uso da equação escolhida, o Erro Padrão da Estimativa ( $S_{yx}$ ) é dado pela Equação 17.

$$S_{yx} = \pm\sqrt{QMR} \quad \text{Equação 17}$$

Em que:

$S_{yx}$  = Erro Padrão da Estimativa;

QMR = Quadrado Médio dos Resíduos.

Dessa forma, para cada uma das equações foram feitos ajustes nos dados, tal como evidenciado na Tabela 2. Os coeficientes e relações dos modelos foram calculados com o programa R. Após a determinação destes três parâmetros, é escolhida a equação hipsométrica que melhor seja adequada ao povoamento florestal levantado.

Tabela 2 – Ajustes nos dados para cada modelo hipsométrico. Fonte: Autor (2021).

Modelo	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
Stofells	$\ln H$	$\ln DAP$	-
Curtis	$\ln H$	$1/DAP$	-
Henriksen	$H$	$\ln DAP$	-
Prodan	$\frac{DAP^2}{(H - 1,3)}$	$DAP$	$DAP^2$

Para a medição de volume, entretanto, é utilizado um único modelo volumétrico. Para o IFPR (2016), o modelo volumétrico mais recomendado para este caso, devido à sua confiabilidade, é o modelo de Schumacher e Hall (1933), representado pela Equação 18.

$$V = \beta_0 \times DAP^{\beta_1} \times H^{\beta_2} \quad \text{Equação 18}$$

Em que:

V = Volume da árvore (m<sup>3</sup>);

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = Coeficientes do Modelo;

DAP = Diâmetro a Altura do Peito (cm);

H = Altura da árvore (m).

Schumacher e Hall (1933), salientam em sua pesquisa que este modelo se trata de uma relação não-linear. Entretanto, os autores mencionam que é possível linearizá-lo para encontrar uma equação linear e os seus coeficientes serem calculados a partir de uma regressão linear múltipla. A linearização do modelo é feita como é ressaltado a seguir:

$$v = \beta_0 \times DAP^{\beta_1} \times H^{\beta_2} \rightarrow$$

$$\ln v = \ln(\beta_0 \times DAP^{\beta_1} \times H^{\beta_2}) \rightarrow$$

$$\ln v = \ln \beta_0 + \ln DAP^{\beta_1} + \ln H^{\beta_2} \rightarrow$$

$$\ln v = K + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln H \rightarrow$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$$

A partir da regressão linear dos modelos hipsométricos e volumétrico, determina-se a equação de ajuste ideal para se calcular a altura e volume de todas as árvores medidas nas unidades amostrais.

#### 3.4.10. Equação de Afilamento e Sortimento

A partir dos dados da cubagem rigorosa, prepara-se a equação de afilamento e sortimento segundo o modelo de Schöepfer (1966) de um Polinômio de 5º Grau, modelo atestado por trabalhos como o de Cerdeira (2012) e Souza et al. (2008).

Para isso, os dados de diâmetro e altura das diferentes toras em diâmetro relativo e altura relativa para cada árvore medida são organizados. Por meio de uma regressão polinomial de quinta ordem, determinam-se os coeficientes da Equação 19 evidenciados a seguir:

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \frac{h_i}{H} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H}\right)^5 \quad \text{Equação 19}$$

Em que:

$d_i$  = diâmetro da i-ésima tora (cm);

DAP = Diâmetro a altura do peito (cm);

$h_i$  = Altura do i-ésimo diâmetro medido (m);

H = Altura da árvore (m);

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_5$  = Coeficientes da equação de afilamento.

A regressão polinomial foi realizada usando o software R. Os dados de diâmetro e alturas da cubagem foram levantados com uma casa decimal após a vírgula. Vale ressaltar que, após o cálculo dos coeficientes, isola-se  $d_i$  para o cálculo do volume dos sortimentos, tal como na Equação 20.

$$d_i = DAP * \left[ \beta_0 + \beta_1 \frac{h_i}{H} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H}\right)^5 \right] \quad \text{Equação 20}$$

#### 3.4.11. Volume de Sortimentos

A equação de Volume de Sortimentos busca calcular o volume das toras para determinados diâmetros comerciais. A equação de cálculo do volume dos sortimentos é dada pela seguinte relação:

$$V = K \int_{h_1}^{h_2} (d_i)^2 dh \quad \text{Equação 21}$$

sendo:

$$V = K \int_{h_{inf}}^{h_{sup}} \left( DAP * \left[ \beta_0 + \beta_1 \frac{h_i}{H} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H}\right)^5 \right] \right)^2 dh$$

Dessa forma:

$$\begin{aligned}
V = K * DAP^2 * & \left[ \beta_0^2 \left(\frac{h_i}{H}\right) + \beta_0\beta_1 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + \frac{1}{3}(2\beta_0\beta_2 + \beta_1^2) \left(\frac{h_i}{H}\right)^3 + \frac{1}{2}(\beta_0\beta_3 + \beta_1\beta_2) \left(\frac{h_i}{H}\right)^4 \right. \\
& + \frac{1}{5}(2\beta_0\beta_4 + 2\beta_1\beta_3 + \beta_2^2) \left(\frac{h_i}{H}\right)^5 + \frac{1}{3}(\beta_0\beta_5 + \beta_1\beta_4 + \beta_2\beta_3) \left(\frac{h_i}{H}\right)^6 \\
& + \frac{1}{7}(2\beta_1\beta_5 + 2\beta_2\beta_4 + \beta_3^2) \left(\frac{h_i}{H}\right)^7 + \frac{1}{4}(\beta_2\beta_5 + \beta_3\beta_4) \left(\frac{h_i}{H}\right)^8 \\
& \left. + \frac{1}{9}(2\beta_3\beta_5 + \beta_4^2) \left(\frac{h_i}{H}\right)^9 + \frac{1}{5}(\beta_4\beta_5) \left(\frac{h_i}{H}\right)^{10} + \frac{1}{11}(\beta_5^2) \left(\frac{h_i}{H}\right)^{11} \right]_{h_{inf}}^{h_{sup}}
\end{aligned}$$

Equação 22

Onde:

V = Volume da tora (m<sup>3</sup>);

DAP = Diâmetro a altura do peito da árvore (cm);

h<sub>i</sub> = altura referente ao diâmetro i, inferior ou superior (m);

H = altura total da árvore (m);

β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub>, ..., β<sub>5</sub> = Coeficientes da equação de afilamento

h<sub>inf</sub>, h<sub>sup</sub> = Altura calculada pela função de afilamento para os diâmetros comerciais inferior e superior das toras.

K = Constante de transformação = π/40000.

A partir das equações hipsométricas, volumétricas, de afilamento e sortimento, calcula-se os volumes necessários para a avaliação econômica, conforme a necessidade das propostas.

### 3.5. Simulação no Software

Após a conclusão do Inventário Florestal, deu-se início a Simulação no Software SisPinus, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA.

Inicialmente, foram inseridos no software os dados levantados pelo inventário florestal: Índice de Sítio, Densidade de árvores por hectare, taxa de sobrevivência inicial, Idade, Área Basal e Diâmetro Quadrático Médio. A homogeneidade definida

para a floresta, em razão de suas características, foi 5. Além dos dados referentes ao inventário, também foram alteradas no software as equações de Índice de Sítio, Volume, Afilamento e Sortimentos.

Com o software, foram realizadas 3 simulações a fim de se estimar diversos resultados parciais. A primeira simulação consistiu em simular o inventário florestal calculado. Além disso, foram usadas as equações de afilamento e sortimento para estabelecer a quantidade de toras a serem destinadas ao processamento mecânico, de acordo com os diâmetros comerciais e respectivos preços. As opções de listagem dessa proposta foram apenas para a idade de 15 anos. A distribuição dos diâmetros para os sortimentos foi feita de 2 em 2 cm.

A segunda simulação foi realizada para a Proposta 2. Uma vez que o software não consegue prever resultados completos em idades inferiores à do inventário, simulou-se a floresta a partir dos dados de densidade florestal e percentagem inicial de sobrevivência. Apesar dessa entrada de dados fornecer resultados próximos aos “ideais”, entende-se que para a floresta simulada não se atenta as características de crescimento do povoamento atual. Nessa simulação, foi classificado como perda e resíduos, os sortimentos com diâmetro inferior a 5 centímetros devido ao processamento do cavaco. As opções de listagem dessa proposta foram elencadas da idade 1 a 7 anos.

A terceira simulação consistiu em simular o inventário florestal calculado e a venda dos sortimentos da floresta para fins de processamento mecânico e energético – Proposta 3. Para esta simulação, foi considerada uma distribuição dos diâmetros comerciais de modo a incluir porções para o processamento mecânico e finalidade energética. As opções de listagem dessa proposta foram apenas para a idade de 15 anos. A distribuição dos diâmetros para os sortimentos foi feita de 2 em 2 cm.

### **3.6. Análise Econômica**

A Análise Econômica foi realizada pela metodologia do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Relação Benefício-Custo (B/C), pois as três propostas possuem o mesmo tempo de projeto (15 anos).

### 3.6.1. VPL

Os valores de Entradas e Saídas dos fluxos de caixa foram tabelados e convertidos em Valores Presentes equivalentes no ano 0, por meio da Equação 23.

$$P = \frac{F}{(1 + TMA)^n} \quad \text{Equação 23}$$

Em que:

P = Valor Presente (R\$);

F = Valor Futuro (R\$);

TMA = Taxa mínima de Atratividade (decimal).

n = nº de períodos (anos).

A TMA é uma taxa que reflete inúmeros aspectos de um projeto. Ela pode refletir as taxas de juros impostas sobre os projetos, assim como uma série de outros fatores difíceis de serem quantificados como riscos associados e percentuais próprios estabelecidos por grandes empresas e fundos de investidores.

Para o estudo em questão, visto que os investimentos a serem feitos são de um único fundo de capital, foi tomado como a Taxa Mínima de Atratividade a Taxa Selic para o ano de 2020 (janeiro a dezembro) e a inflação no mesmo período, de modo que a TMA pode ser calculada a partir da Equação 24

$$TMA = [(1 + i_1) \times (1 + i_2)] - 1 \quad \text{Equação 24}$$

Em que:

TMA = Taxa Mínima de Atratividade (decimal).

$i_1$  = Taxa Selic (decimal);

$i_2$  = Inflação (decimal);

O VPL foi, então, calculado como sendo o somatório dos custos e receitas dos valores presentes equivalentes, segundo a Equação 25.

$$VPL = \sum_{i=0}^n P_i$$

Equação 25

Em que:

VPL = Valor Presente Líquido (R\$).

Pi = Valor Presente equivalente do i-ésimo período.

n = nº de períodos (anos).

Tem-se como o projeto mais viável economicamente aquele que destacar o maior Valor Presente Líquido entre as três propostas.

### 3.6.2. TIR

A Taxa Interna de Retorno é a taxa que torna nulo o VPL. Dessa forma, calcula-se a TIR pela Equação 26:

$$VPL = 0 = \sum_{t=0}^n \left[ \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \right]$$

Equação 26

Em que:

VPL = Valor Presente Líquido (R\$).

F<sub>n</sub> = Valor Futuro no n-ésimo período (R\$);

TIR = Taxa Interna de Retorno (decimal).

t = período (anos);

n = número de períodos.

Para analisar a viabilidade dos projetos por meio da TIR, não basta comparar seus valores. É preciso comparar a TIR com a Taxa Mínima de Atratividade de cada projeto.

Classifica-se o projeto como viável economicamente aquele que apresentar uma TIR superior a TMA. Com estes dados, pretende-se elaborar um gráfico de VPL x i (Valor Presente Líquido *versus* Taxas de Juros) para encontrar os possíveis pontos de intersecção entre os projetos, ou seja, quais taxas de juros tornariam os projetos

igualmente viáveis. A partir dessa comparação pode-se estabelecer, frente a TMA, qual dos projetos aparenta ter maior rentabilidade segundo a TIR.

### 3.6.3. B/C

A Relação Benefício Custo (B/C) é a razão entre o VPL das receitas (ou entradas) e dos custos (ou saídas), conforme a Equação 27:

$$B/C = \frac{VPL_{receitas}}{VPL_{custos}} \quad \text{Equação 27}$$

Em que:

B/C = Relação benefício custo (numeral).

$VPL_{receitas}$  = VPL das Receitas (R\$);

$VPL_{custos}$  = VPL dos Custos (R\$).

Um projeto é tido como viável se seu B/C é maior do que 1. O B/C será utilizado apenas como parâmetro para verificar o risco de cada projeto. Verifica-se a viabilidade de cada projeto no tocante aos seus custos e receitas e, dada sua proximidade (ou afastamento) com o valor unitário, estima-se quão arriscada determinada proposta se apresenta.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Inventário Florestal

#### 4.1.1. Alocação das Unidades Amostrais

Inicialmente, as 4 parcelas foram alocadas no povoamento de modo a compreenderem 11x11 árvores em cada. Foram mensuradas utilizando trena de 50 metros, sendo sua configuração conforme a Tabela 3:

Tabela 3 – Configuração das Unidades Amostrais. Fonte: Autor (2021).

Identificação	Dimensões (m)	Área (m <sup>2</sup> )
Unidade Amostral 1	21,0 x 30,0	630,00
Unidade Amostral 2	20,0 x 30,0	600,00
Unidade Amostral 3	20,6 x 30,8	634,48
Unidade Amostral 4	20,8 x 31,0	644,80

As 4 parcelas possuem área total de 2509,28 m<sup>2</sup> ou 0,25928 ha, as unidades foram então alocadas utilizando um GPS sendo representadas na Figura 21.



Figura 21 – Alocação das U. A. Fonte: Google Earth (2020). Adaptado pelo autor.

#### 4.1.2. Diâmetro a Altura do Peito (DAP)

Uma vez alocadas as U.A., foi dado início a Medição das CAP das árvores. A CAP foi medida utilizando uma fita métrica de 150 cm, considerando uma casa após a vírgula. A partir dos dados coletados para cada estrato, calculou-se os respectivos DAP das árvores medidas. A Tabela 4 evidencia os DAP da Unidade Amostral 1.

Tabela 4 – DAP – U. A. 1. Fonte: Autor (2021).

Unidade Amostral 1											
	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
1	18,5	18,7	17,3	26,3	21,9	M	35,6	-	-	16,3	23,4
2	11,5	16,7	-	-	-	13,8	-	26,5	-	30,3	20,5
3	28,6	M	32,2	-	36,3	-	-	-	34,7	-	25,6
4	-	27,2	-	28,7	-	33,9	-	31,9	-	34,8	-
5	35,0	-	20,7	-	-	-	28,4	-	25,5	M	27,3
6	-	30,7	-	32,5	-	35,2	-	28,8	4,2	-	-
7	26,1	-	29,6	-	21,8	-	24,2	-	30,9	-	32,0
8	-	M	-	23,9 24,9	-	29,1	-	33,0	-	22,3	-
9	31,6	-	28,2	-	16,3	4,7	29,9	M	M	-	32,0
10	28,4	-	26,9	-	32,4	-	36,4	-	-	-	16,8
11	20,1	-	33,4	-	21,7	-	-	-	28,6	-	32,4

Estrada

Legenda: "M" = Morta em pé; "-" = Falhas

A Unidade Amostral 1 possui um espaçamento regular entre as árvores. A partir da tabela se identificam as árvores de maior DAP da parcela (Destaque em Verde). É possível perceber a ocorrência de um alto número de falhas e árvores mortas em pé nesta unidade amostral e, também, a influência que árvores de DAP maiores tiveram, inibindo ou impedindo o crescimento das demais árvores em seu entorno. Percebe-se que este fator salienta as características do plantio realizado, visto que há uma série de árvores com espaçamentos de 4,0 x 3,0 m entre si, sinalizando a morte de grande parte dos pinus plantados na área em 2007.

Foram feitas 121 observações, sendo destas 59 árvores saudáveis e sem defeitos, 1 árvore bifurcada (destaque em amarelo), 55 falhas e 6 árvores mortas em pé. A Figura 22 exhibe a distribuição qualitativa das observações realizadas.

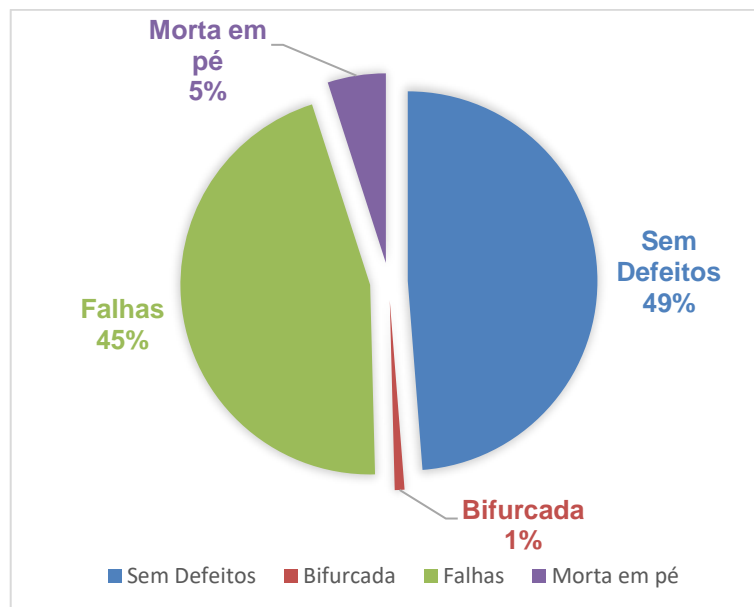


Figura 22 – Distribuição qualitativa das árvores na U.A. 1. Fonte: Autor (2021).

Foi identificado que as falhas representam árvores mortas em um período anterior ao inventário. Dessa forma, a taxa de sobrevivência das árvores para o estrato 1, aos 15 anos, foi de 49,59%. A Figura 23 mostra um histograma de frequência dos diâmetros da Unidade Amostral 1.

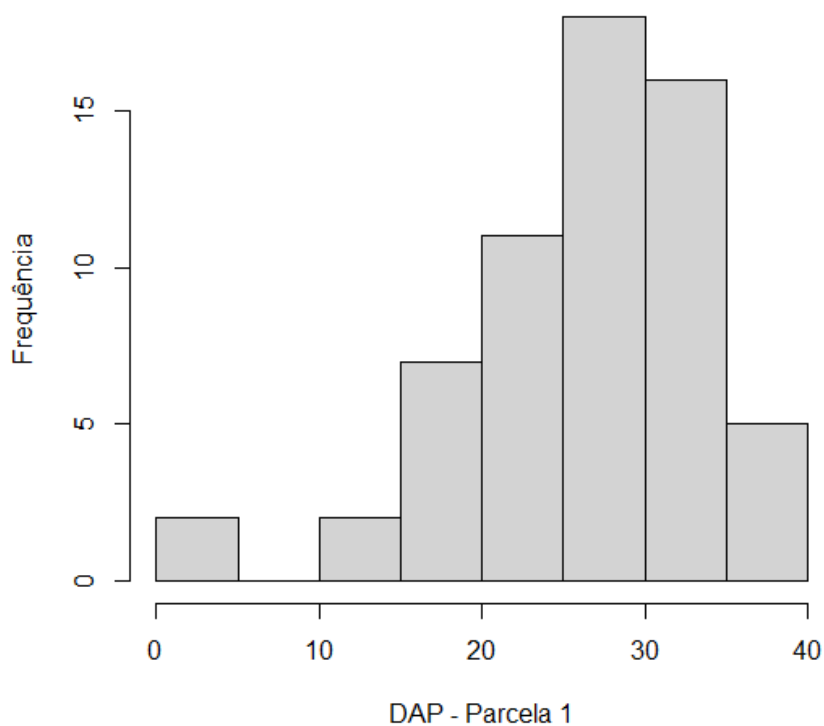


Figura 23 - Histograma de frequência de DAP da U.A. 1. Fonte: Autor (2021).

Prosseguiu-se com as medições sendo, então, feitas as medidas na Unidade Amostral 2 localizada no Estrato 3. Os dados de diâmetros estão presentes na Tabela

5.

Tabela 5 – DAP – U.A. 2. Fonte: Autor (2021).

Unidade Amostral 2												
	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
1	27,7	12,9	22,6	22,9	15,2	18,6	-	13,8	22,5	18,8	-	27,4
2			20,0	22,7	21,3	27,2	19,4	17,3	19,6	15,1	13,9	23,0
3		-	14,0	M	22,9	M	26,5	18,4	19,1	20,8	14,4	21,9
4		27,7	22,9	19,4	15,4	15,9	23,6	-	24,0	10,4	21,3	13,3
5	19,5	24,8	-	-	20,3	24,5	23,2	21,5	19,5	19,5	22,1	26,3
6		27,9	-	M	23,5	-	23,3	24,1	23,9	33,9	26,1	22,3
7			M	-	21,3	21,5	-	M	M	-	M	M
8		27,9	23,9	21,1	-	-	M	-	-	-	9,0	-
9		18,3	M	M	-	-	M	M	17,1	19,2	17,2	12,2
10		14,4	24,3	-	M	M	-	-	M	M	24,2	-
11	14,3	-	17,7	27,2	M	11,0	7,6	8,0	-	19,1	-	18,1

Legenda: "M" = Morta em pé; "-" = Falhas

A unidade amostral 2 apresentou uma configuração heterogênea. Percebe-se que nas linhas 2 e 7 foi plantado um número menor de árvores, indicando que o espaçamento entre elas foi superior a 2,0 metros. De forma análoga, nas linhas 1, 5 e 11 há 12 árvores por linha, indicando que houve um acercamento de algumas árvores, isso pode ter ocorrido devido ao plantio incorreto ou ao brotamento entre as árvores.

Uma característica dos estratos 2 e 3 foi exibida na unidade amostral. Foi registrada a presença de uma árvore de dimensões consideráveis (destaque em vermelho) com uma idade anterior ao plantio e que foi mantida na área. A árvore trata-se de um *Pinus elliottii* que possui um CAP de 192 cm e 25,4 metros de altura que se estima ter, segundo os proprietários, entre 25 a 30 anos. É possível perceber o impacto causado pela presença do espécime, visto a grande quantidade de árvores dominadas, mortas em pé e faltantes em seu entorno. Esta característica repete-se com frequência nos dois estratos tanto para espécies nativas quanto exóticas que foram mantidas na área na época do plantio, sendo um dos fatores responsáveis pela heterogeneidade e subdesenvolvimento nestes estratos.

Foram feitas 122 observações, sendo destas 77 árvores saudáveis e sem defeitos, 1 árvore bifurcada (destaque em amarelo), 26 falhas e 18 árvores mortas em pé. A Figura 24 apresenta a distribuição qualitativa dos diâmetros.

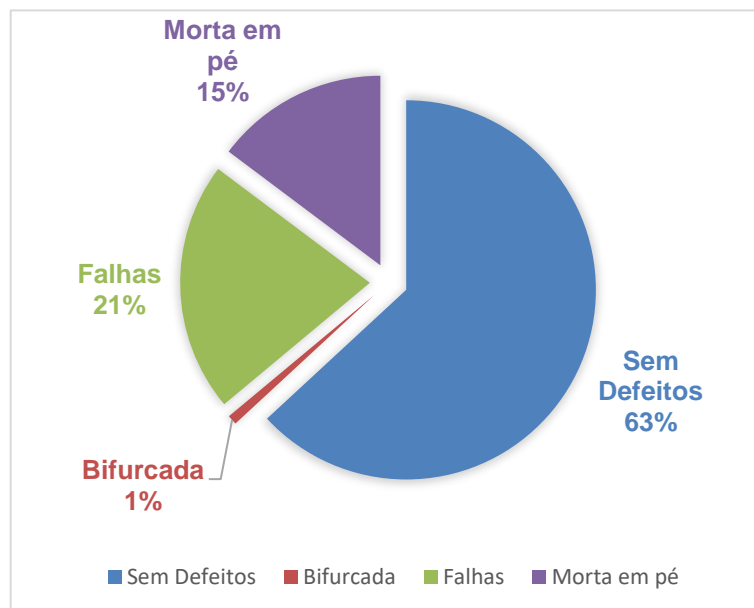


Figura 24 – Distribuição qualitativa das árvores na U.A. 2. Fonte: Autor (2021)

A taxa de sobrevivência das árvores para a unidade amostral 2, aos 15 anos, foi de 63,93%. A Figura 25 expõe um histograma de frequência dos DAP da Unidade Amostral 2.

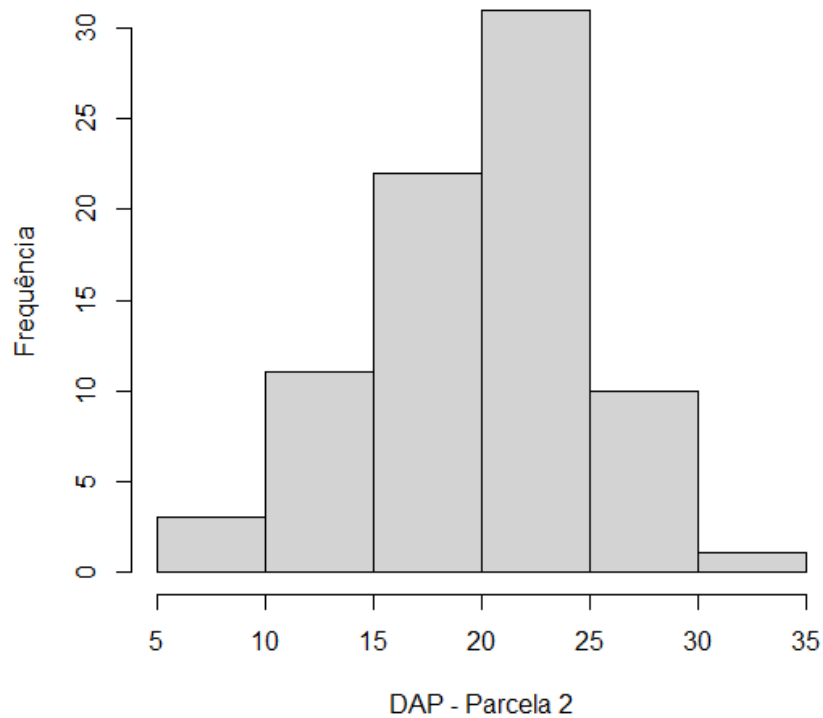


Figura 25 – Histograma de frequência de DAP da U.A. 2. Fonte: Autor (2021).

Deu-se continuidade às medições feitas na Unidade Amostral 3 localizada no Estrato 4. Os dados de diâmetros estão na Tabela 6.

Tabela 6 – DAP – U.A. 3. Fonte: Autor (2021).

Unidade Amostral 3												
	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
1	23,3	M	15,6	14,0	20,6	-	21,8	21,9	14,2	15,7	M	23,2
2		16,2	24,5	22,4	24,5	17,3	19,1	25,2	21,8	21,3	21,5	23,8
3			27,4	-	21,3	19,1	21,6	20,2	22,4	29,6	18,1	18,2
4		22,8	16,4	25,2	-	20,8	25,8	-	20,5	24,7	12,9	15,3
5		23,4	14,9	10,9	26,4	18,7	23,0	14,8	21,8	17,5	21,2	17,4
6		18,5	M	21,2	18,1	21,0	M	-	21,3	19,9	21,9	15,5
7			9,5	29,6	21,3	29,8	-	19,2	14,5	25,0	-	21,5
8		12,8	11,4	11,5	22,4	-	7,5	35,5	22,2	21,3	20,4	18,9
9		-	33,7	21,8	-	24,1	-	20,0	-	31,8	17,6	M
10		10,2	M	14,5	20,2	M	37,2	15,2	16,4	9,7	21,2	M
11				24,2	-	36,2	-	34,5	M	20,6	28,0	13,2

Legenda: "M" = Morta em pé; "-" = Falhas

A unidade amostral 3 também apresentou configuração heterogênea. Percebe-se que, nas linhas 3, 7 e 11, foi plantado um número reduzido de árvores, indicando que o espaçamento entre elas foi superior a 2,0 metros. De forma análoga, na linha 1 há 12 árvores, indicando que houve um acercamento de algumas delas.

Foram feitas 118 observações, sendo destas 95 árvores saudáveis e sem defeitos, 14 falhas e 9 árvores mortas em pé. A Figura 26 salienta a distribuição qualitativa dos diâmetros.

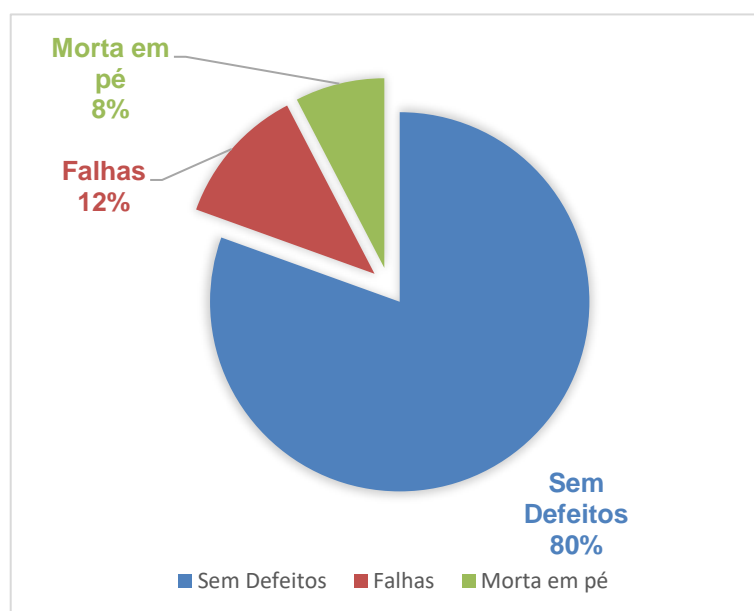


Figura 26 – Distribuição Qualitativa das árvores na U.A. 3. Fonte: Autor (2021).

A taxa de sobrevivência das árvores para a unidade amostral 3, aos 15 anos, foi de 80,51%. A Figura 27 apresenta um histograma de frequência dos DAP da Unidade Amostral 3



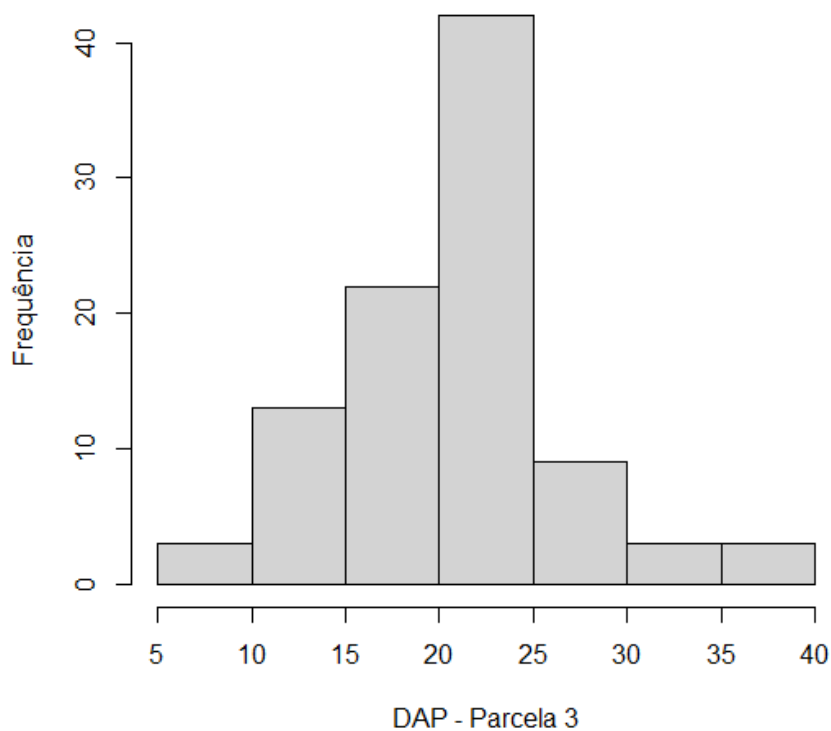


Figura 27 – Histograma de frequência de DAP da U.A. 3. Fonte: Autor (2021).

Mediu-se, por fim, as CAP da Unidade Amostral 4 localizada no Estrato 4. Os dados dos DAP calculados estão expostos na Tabela 7.

Tabela 7 – DAP – U.A. 4. Fonte: Autor (2021).

Unidade Amostral 4											
	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
11		15,8	-	33,5	-	23,9	12,6	33,8	9,8	9,1	13,7
10		26,6	17,9	M	13,8	17,0	11,8	15,1	26,9	12,8	35,1
9		19,7	21,4	17,4	24,6	18,2	19,4	18,0	39,3	-	-
8		17,5	18,6	30,7	17,2	24,2	19,1	15,5	-	17,9	21,3
7	20,8	14,8	23,9	M	17,5	-	22,9	20,0	11,7	19,5	28,8
6	14,5	14,0	25,5	-	19,0	21,2	16,8	14,5	19,4	24,7	22,2
5	-	-	23,6	21,3	16,6	21,4	18,0	17,1	21,5	23,4	20,2
4	24,5	18,3	27,1	15,5	16,5	15,0	21,6	24,7	13,7	-	18,7
3	18,6	21,5	-	21,0	-	18,4	38,1	-	28,8	21,1	14,2
2	35,1	21,7	20,8	26,1	25,8	-	30,9	-	29,5	12,1	21,5
1	22,6	-	15,9	M	M	38,2	-	22,5	-	19,4	11,6

Legenda: "M" = Morta em pé; "-" = Falhas

Percebe-se que a unidade amostral 4 possui uma configuração mais homogênea. Há uma árvore a menos nas linhas 8, 9, 10 e 11, pois, segundo foi observado, as árvores finais dessas linhas foram plantadas em espaçamento de 2,5 metros entre si, fazendo com que as árvores não ficassem comportadas dentro da Unidade Amostral. Entretanto, no restante da unidade, o espaçamento de 2,0 x 3,0 foi observado corretamente.

Foram feitas 117 observações, sendo destas 95 árvores saudáveis e sem defeitos, 18 falhas e 4 árvores mortas em pé. A Figura 28 mostra a distribuição qualitativa dos diâmetros.

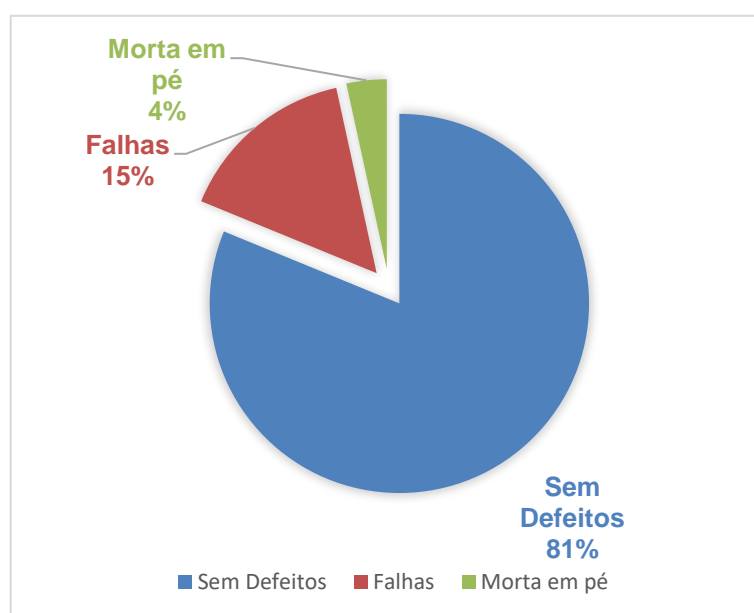


Figura 28 – Distribuição qualitativa das árvores na U.A. 4. Fonte: Autor (2021).

A taxa de sobrevivência das árvores para a unidade amostral 4, aos 15 anos, foi de 81,20%. A Figura 29 apresenta um histograma de frequência dos DAP da Unidade Amostral 4.

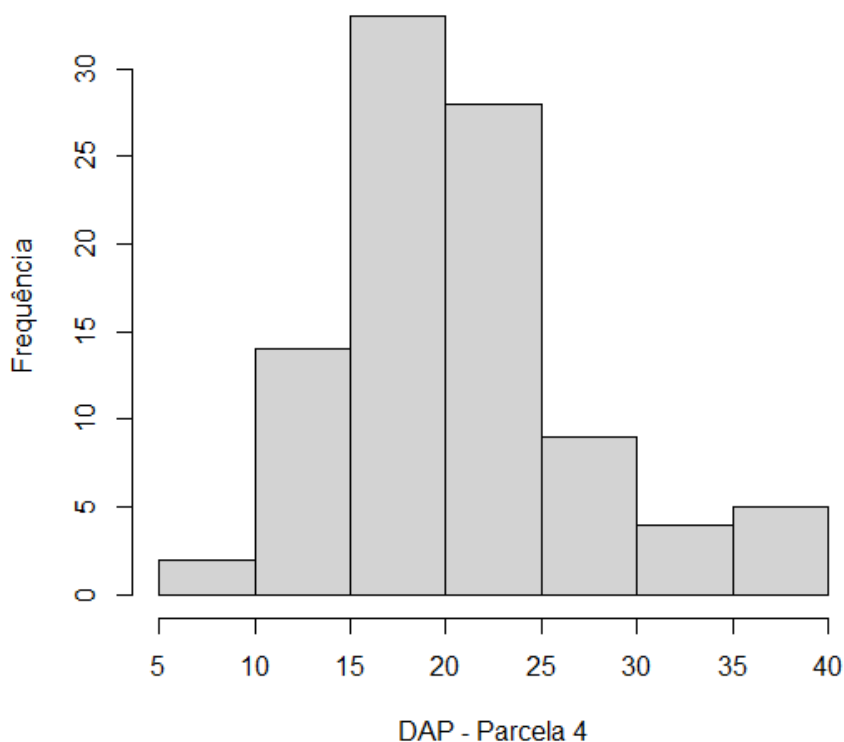


Figura 29 – Histograma de frequência de DAP da U.A. 4. Fonte: Autor (2021).

A partir dos DAP levantados, realizou-se a análise inicial dos dados utilizando o Software R, avaliando-se as principais variáveis estatísticas referentes a cada parcela individualmente e como um todo. Os valores calculados estão em evidência na Tabela 8.

Tabela 8 – Estatística descritiva para as parcelas. Fonte: Autor (2021).

Dados	Parcelas Individuais				Todas as Parcelas
	1	2	3	4	
Soma	1596,87	1574,33	1962,89	1974,83	<b>7108,91</b>
Valor Mínimo	4,17	7,64	7,54	9,07	<b>4,17</b>
Primeiro Quadrante	21,77	17,22	16,90	16,71	<b>17,41</b>
Mediana	28,23	20,95	21,17	19,74	<b>21,33</b>
Média	26,18	20,18	20,66	20,79	<b>21,61</b>
Terceiro Quadrante	31,96	23,55	23,27	23,89	<b>25,24</b>
Valor Máximo	36,38	33,93	37,18	39,34	<b>39,34</b>
Desvio Padrão	7,36	5,19	5,92	6,39	<b>6,54</b>
Variância	54,22	26,92	35,02	40,89	<b>42,81</b>
Coeficiente de Variação	28,13	25,71	28,64	30,76	<b>30,28</b>

Pelos dados apresentados, é possível presumir certos parâmetros do povoamento florestal. O menor DAP medido foi de 4,17 cm, enquanto o maior foi de 39,34 cm. As árvores médias do povoamento possuem um DAP entre 17,41 cm (ou 54,7 cm de circunferência) e 25,24 cm (ou 79,3 cm de circunferência) árvores abaixo desse limite podem ser consideradas finas e árvores acima disso, grossas.

A Variância indica que a maior dispersão dos diâmetros ocorreu no estrato 1, fato devido a presença de diâmetros mais robustos em contraste com a ocorrência de diâmetros finos. Além disso, a unidade amostral 2 é a que tem a menor variação de seus diâmetros com relação à média da unidade.

Todos os coeficientes de variação têm uma dispersão alta para os diâmetros levantados. Este dado corrobora com as características inerentes do povoamento florestal, ligado à época do plantio da floresta e da competitividade que ocorre entre os indivíduos em cada estrato.

Ao todo, foram feitas 478 observações entre todas as unidades amostrais, das quais 326 são árvores saudáveis e sem defeitos, 2 árvores bifurcadas, 113 falhas e 37 mortas em pé. A distribuição qualitativa dessas árvores é dada segundo a Figura 30.

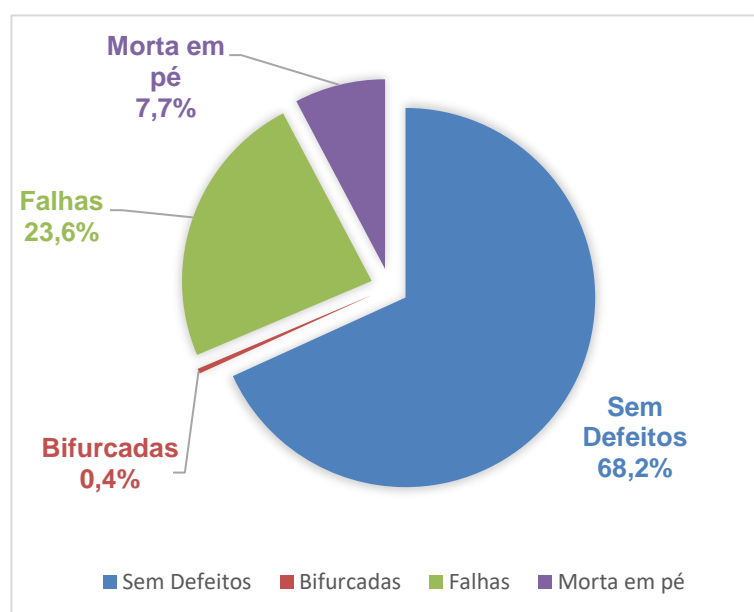


Figura 30 – Distribuição qualitativa das árvores entre todas as U.A. Fonte: Autor (2021).

A Figura 31 ressalta o histograma de frequências para os diâmetros de todas

as unidades amostrais, assim como a Figura 32 apresenta um gráfico de Boxplot dos Diâmetros por parcela.

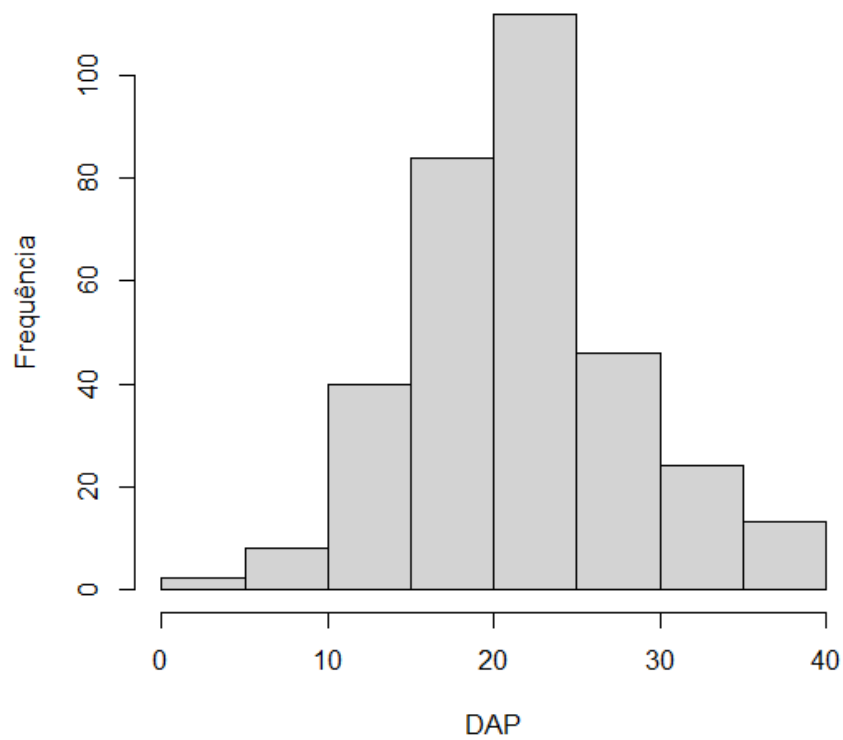


Figura 31 – Histograma de frequência dos DAP entre todas as U.A. Fonte: Autor (2021).

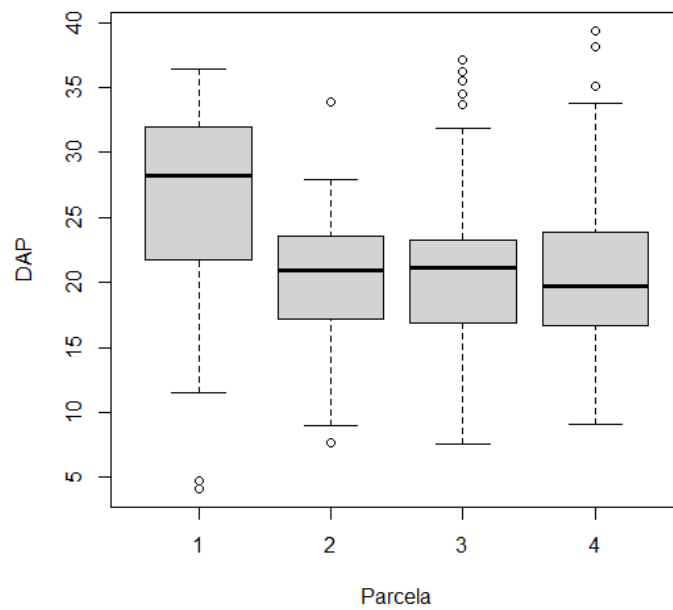


Figura 32 – Boxplot dos DAP para cada parcela. Fonte: Autor (2021).

Pelo gráfico de Boxplot, destaca-se a linha central representando a mediana

dos dados de cada estrato, além dos pontos nos limites inferiores e superiores e os pontos discrepantes em cada parcela. É possível notar que há diferença entre a média dos diâmetros do estrato 1 e dos demais estratos. Além disso, as maiores discrepâncias ocorreram nas parcelas 1, 3 e 4, quando houve contraste maior entre a média dos diâmetros e valores extremos. Nas parcelas 3 e 4, há a ocorrência de diâmetros maiores que os limites superiores enquanto, de forma análoga, na parcela 1 ocorrem diâmetros discrepantes abaixo dos limites inferiores.

Estes fatores indicam que não há uma unidade amostral capaz de representar todo o povoamento. Entretanto, quando se observam todos os pontos gerados pelas unidades amostrais, percebe-se que a quantidade de pontos discrepantes é reduzida uma vez que os dados possuem amplitude homogênea.

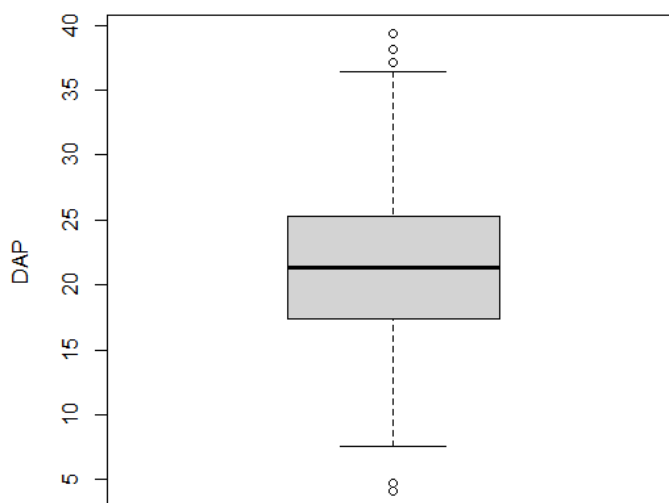


Figura 33 – Boxplot de DAP para todas as parcelas. Fonte: Autor (2021).

Dessa forma, entende-se que o inventário florestal de uma única UA, extrapolado para o todo, poderia gerar erros devido às características inerentes a cada estrato. Contudo, o inventário florestal a partir de todos os dados das unidades amostrais conseguiria satisfazer o esperado para a população do povoamento.

#### 4.1.3. Número de Árvores por Hectare

Tendo sido feitas 478 observações, sendo 328 árvores, em uma área total de 2509,28 m<sup>2</sup> ou 0,25928 ha, tem-se:

$$d = \frac{328}{0,250928} = 1307,14 \text{ \textit{árvores/ha}} \quad \text{Equação 28}$$

Logo, a densidade de árvores será de 1307 árvores por hectare no ano 15. Com taxa de sobrevivência no 15º ano de 68,62%.

Segundo os proprietários, foram plantadas 16000 árvores de *Pinus taeda* na propriedade, e todas tiveram taxa de sobrevivência de praticamente 100%, ocorrendo morte e competição apenas quando atingiram idades mais altas calcula-se:

$$d = \frac{16000}{10,4} = 1538,45 \text{ \textit{árvores/ha}} \quad \text{Equação 29}$$

Portanto, tem-se que a densidade de árvores por hectare no ano 1 para o povoamento seria de 1538 árvores/ha.

#### 4.1.4. Diâmetro quadrático médio

A partir dos dados já levantados, é possível calcular o diâmetro quadrático médio:

$$\bar{d}_q = \sqrt{\frac{168836,2534}{328}} = 22,69 \text{ cm} \quad \text{Equação 30}$$

Sendo assim, o diâmetro quadrático médio do povoamento foi de 22,69 cm.

#### 4.1.5. Área Basal

Tendo os DAP calculados, calcula-se a área seccional de cada um e, a partir disso, é possível calcular a área basal (G) do povoamento. Sendo:

$$G = \frac{13,2604}{0,250928} = 52,85 \text{ m}^2/\text{ha} \quad \text{Equação 31}$$

Logo, a área basal do povoamento é de 52,85 m<sup>2</sup>/ha.

#### 4.1.6. Medida de Alturas

Foram medidas as 20 primeiras árvores, saudáveis e sem defeitos, de cada unidade, assim como as 6 árvores de maior DAP. Algumas árvores Dominantes coincidiram com as 20 primeiras árvores das unidades. Dessa forma, foi gerado um número diferente de pares ordenados (DAP, Altura) para cada U.A. (Tabela 9).

Tabela 9 – Pares ordenados de DAP e Altura por U.A. Fonte: Autor (2021).

<b>Identificação</b>	<b>Pares Ordenados</b>
<b>Unidade Amostral 1</b>	23
<b>Unidade Amostral 2</b>	23
<b>Unidade Amostral 3</b>	26
<b>Unidade Amostral 4</b>	23
<b>Todas as Unidades</b>	<b>95</b>

A Tabela 10 evidencia as medidas realizadas em cada Unidade Amostral. Os pares ordenados foram identificados sendo o DAP, calculado a partir do CAP das árvores, considerando-se 4 casas decimais depois da vírgula e as alturas com 1 casa decimal depois da vírgula. As árvores foram identificadas como “SD” (Sem Defeitos) e “Dominante” (Árvores de Altura Dominante).



Tabela 10 – Relação das medidas realizadas. Fonte: Autor (2021).

U.A.	Id	DAP(cm)	Altura(m)	U.A.	Id	DAP(cm)	Altura(m)
1	SD	23,3958	20,6	2	Dominante	27,3747	18,1
1	SD	16,2975	20,7	2	SD	18,8121	17,7
1	Dominante	35,6189	21,0	2	SD	22,5045	18,3
1	SD	21,8997	18,7	2	SD	13,8146	11,5
1	SD	26,2606	19,8	2	SD	18,5893	18,0
1	SD	17,2842	17,7	2	SD	15,1516	16,8
1	SD	18,6530	17,6	2	SD	22,8546	17,5
1	SD	18,4620	18,6	2	SD	22,5682	18,7
1	SD	11,4910	15,0	2	SD	12,8597	10,2
1	SD	16,7431	17,7	2	Dominante	27,6930	18,5
1	SD	13,8146	15,9	2	SD	20,0217	17,9
1	SD	26,4516	21,6	2	SD	22,6637	18,4
1	SD	30,3031	18,0	2	SD	21,3268	17,6
1	SD	20,4992	19,6	2	Dominante	27,2473	12,0
1	SD	25,6239	18,6	2	SD	19,3851	18,2
1	SD	34,7276	23,8	2	SD	17,3161	16,3
1	Dominante	36,2555	25,3	2	SD	19,6397	18,3
1	SD	32,2448	22,0	2	SD	15,0879	17,3
1	SD	28,5524	21,2	2	SD	13,9420	15,8
1	Dominante	34,7594	23,7	2	SD	22,9501	17,7
1	Dominante	35,0141	21,4	2	Dominante	27,7248	21,5
1	Dominante	35,2369	24,0	2	Dominante	33,9318	22,2
1	Dominante	36,3828	23,5	2	Dominante	27,9476	19,7

U.A.	Id	DAP(cm)	Altura(m)	U.A.	Id	DAP(cm)	Altura(m)
3	SD	23,2048	22,2	4	SD	11,6183	11,6
3	SD	15,6608	17,0	4	SD	19,3851	21,1
3	SD	14,2285	15,9	4	SD	22,5363	19,2
3	SD	21,9316	18,3	4	Dominante	38,1654	20,5
3	SD	21,8042	19,0	4	SD	15,9155	15,8
3	SD	20,6265	18,5	4	SD	22,6318	20,5
3	SD	13,9738	15,4	4	Dominante	35,1096	20,9
3	SD	15,6290	15,5	4	SD	21,6769	19,5
3	SD	23,3321	21,7	4	SD	20,7856	20,1
3	SD	16,2020	17,0	4	SD	26,1332	21,6
3	SD	24,5099	21,6	4	SD	25,8468	20,4
3	SD	22,3772	19,7	4	SD	30,8761	21,9
3	SD	24,5099	21,3	4	SD	29,4755	19,6
3	SD	17,6662	23,2	4	SD	12,0958	12,6
3	SD	19,0986	21,1	4	SD	21,4859	18,7
3	SD	25,2420	21,7	4	SD	14,1648	16,3
3	SD	21,7724	22,0	4	SD	21,1358	20,7
3	SD	21,3268	19,2	4	SD	28,8070	22,4
3	SD	21,5177	20,0	4	Dominante	38,1335	23,9
3	SD	23,7777	19,9	4	SD	18,3665	16,8
3	Dominante	35,5234	22,9	4	Dominante	39,3431	22,8
3	Dominante	31,8310	22,5	4	Dominante	35,0777	21,4
3	Dominante	33,6772	21,6	4	Dominante	33,8045	22,6
3	Dominante	37,1786	23,5				
3	Dominante	34,5366	24,0				
3	Dominante	36,1918	24,4				

A partir dos pares ordenados de DAP e Altura, foi possível elaborar o gráfico de dispersão da Altura em função do DAP, (Figura 34):

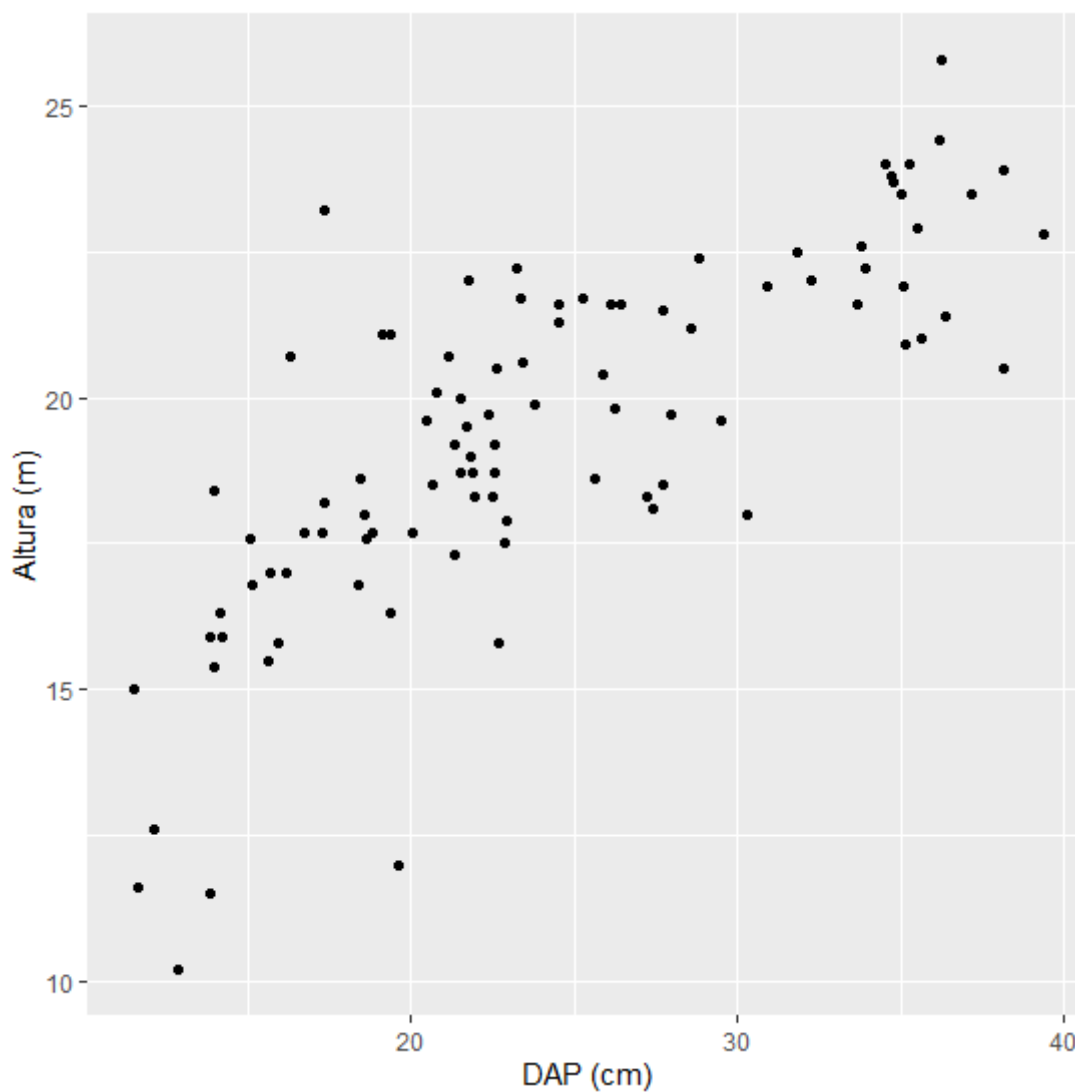


Figura 34 – Gráfico de dispersão para as alturas medidas. Fonte: Autor (2021).

#### 4.1.7. Altura Dominante e Índice de Sítio

A Altura Dominante do Povoamento aos 15 anos pode, então, ser calculada, sendo esta a média das alturas dominantes das unidades amostrais. Com isso, a altura dominante do povoamento foi de 21,7 metros (Tabela 11):

Tabela 11 – Alturas dominantes. Fonte: Autor (2021).

Parcela	Identificação	H(m)
1	Dominante	21,0
1	Dominante	25,3
1	Dominante	23,7
1	Dominante	21,4
1	Dominante	24,0
1	Dominante	23,5
2	Dominante	18,1
2	Dominante	18,5
2	Dominante	12,0
2	Dominante	21,5
2	Dominante	22,2
2	Dominante	19,7
3	Dominante	22,9
3	Dominante	22,5
3	Dominante	21,6
3	Dominante	23,5
3	Dominante	24,0
3	Dominante	24,4
4	Dominante	20,5
4	Dominante	20,9
4	Dominante	23,9
4	Dominante	22,8
4	Dominante	21,4
4	Dominante	22,6
<b>Média</b>		<b>21,7</b>

Para a determinação do índice de Sítio, tendo em vista que a equação estudada foi elaborada para árvores de *Pinus taeda* aos 15 anos, tem-se uma relação de igualdade direta, sendo que, para o estudo em questão, o Índice de Sítio (S) é igual a Altura Dominante do Povoamento aos 15 anos. Sendo assim,  $S = 21,7$  metros.

#### 4.1.8. Modelo Hipsométrico

Utilizando-se o Software R, fez-se as transformações dos pares ordenados de DAP e Altura para se aplicar nos diferentes modelos hipsométricos. O Apêndice A apresenta o script desenvolvido para a aplicação das regressões e os resultados gerados para os modelos hipsométricos testados. Com o uso do software foram determinados os parâmetros estatísticos necessários para a análise dos dados, sendo eles:  $R^2$ ,  $R^2_{aj}$ , Erro Padrão da Estimativa Syx, Estatística F e os gráficos de resíduos. Os resultados são ressaltados na Tabela 12.

Tabela 12 – Parâmetros dos modelos hipsométricos testados. Fonte: Autor (2021).

Modelos Hipsométricos - Todos os Estratos							
Modelo	Coeficientes			$R^2$	$R^2_{aj}$	Syx	F
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$				
Stofells	1,63749	0,41992	-	0,6019	0,5976	0,1091	140,6
Curtis	3,37076	-9,11047	-	0,6295	0,6256	0,1053	158,0
Henriksen	-4,48150	7,6318	-	0,6338	0,6299	1,8540	161,0
Prodan	0,863761	0,484359	0,032767	0,9594	0,9585	3,3500	1088,0

Todos os modelos testados têm valores satisfatórios para as variáveis testadas, sendo que o modelo de Curtis foi o mais adequado entre os 3 modelos lineares, uma vez que, mesmo tendo um  $R^2_{aj}$  inferior ao modelo de Henriksen, o Erro Padrão do modelo foi muito mais satisfatório. Todavia, Prodan salientou um  $R^2$  ajustado de 95,85%, mostrando eficácia no ajuste dos pontos do modelo, um valor consideravelmente superior a 62,56% do modelo de Curtis. Por intermédio da análise das estatísticas de  $R^2$ ,  $R^2_{aj}$  e Syx, Prodan mostrou o melhor desempenho dentre os 4 modelos hipsométricos.

A seguir, analisou-se a homoscedasticidade dos resíduos para cada um dos modelos. A partir da Figura 35 até a Figura 38, são destacados os gráficos de resíduos *versus* variável explicativa, resíduos *versus* valores ajustados e o boxplot dos resíduos para cada modelo testado.

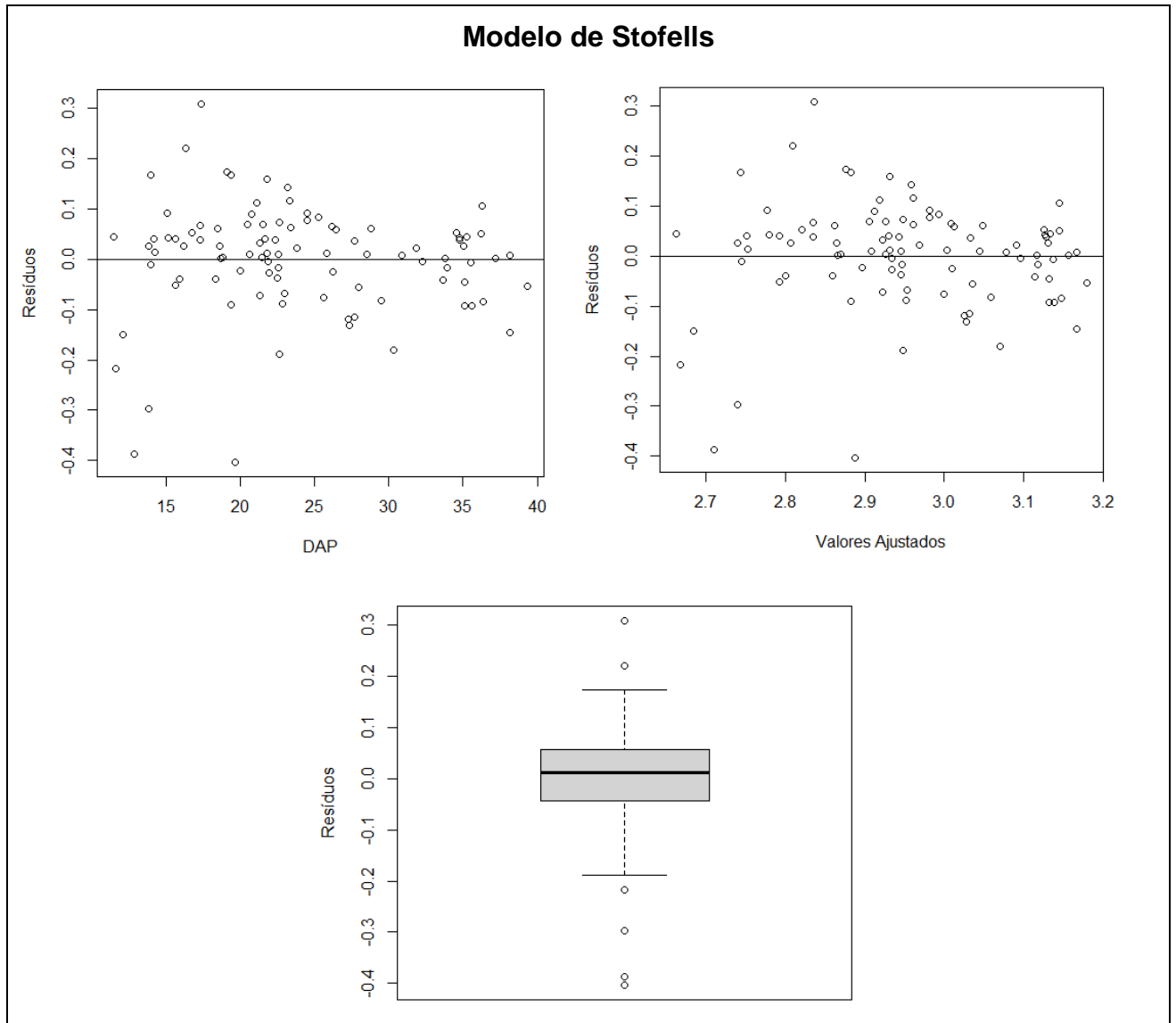


Figura 35 – Gráficos de resíduos e boxplot para o modelo de Stofells. Fonte: Autor (2021).

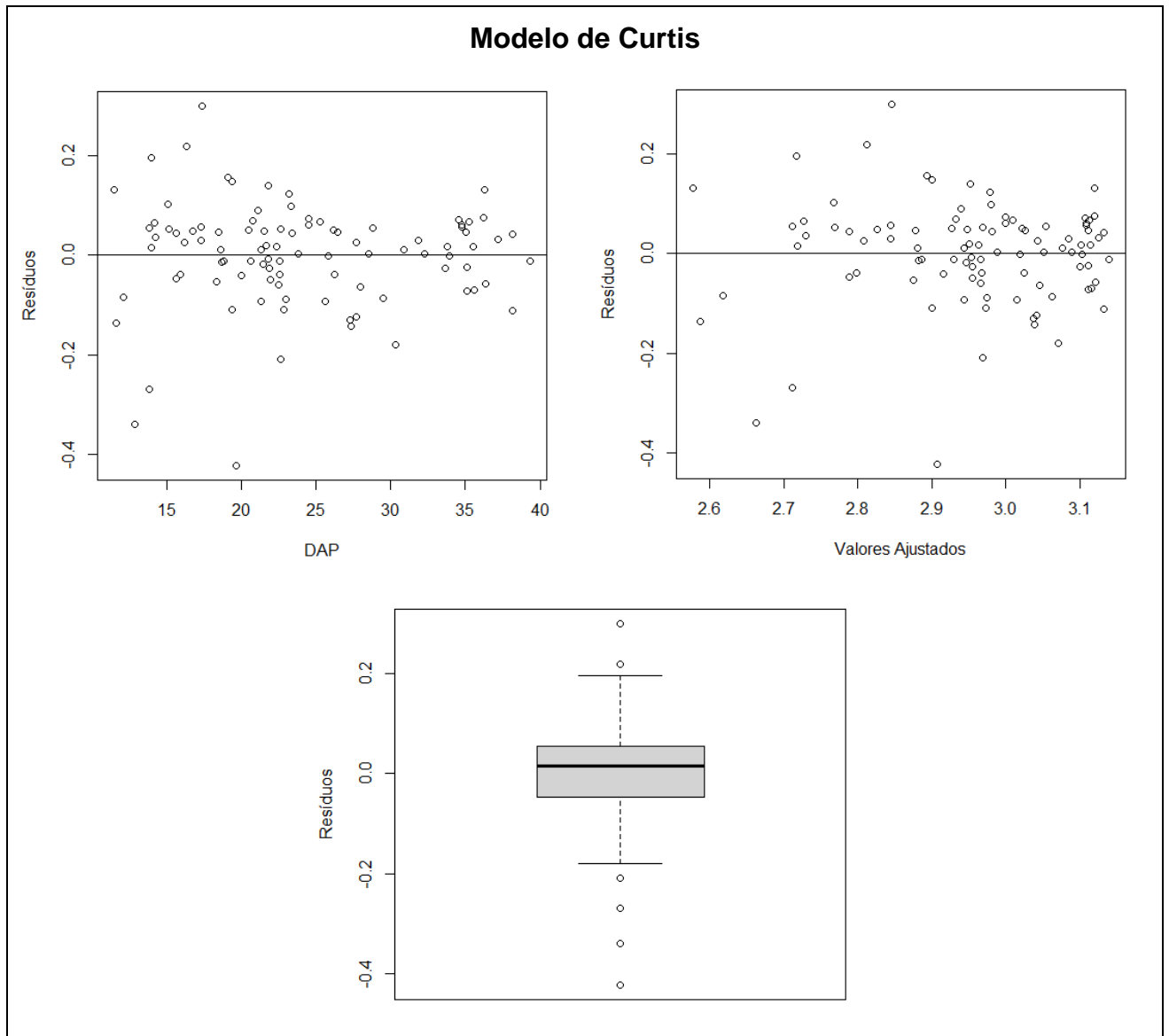


Figura 36 – Gráficos de resíduos e boxplot para o modelo de Curtis. Fonte: Autor (2021).

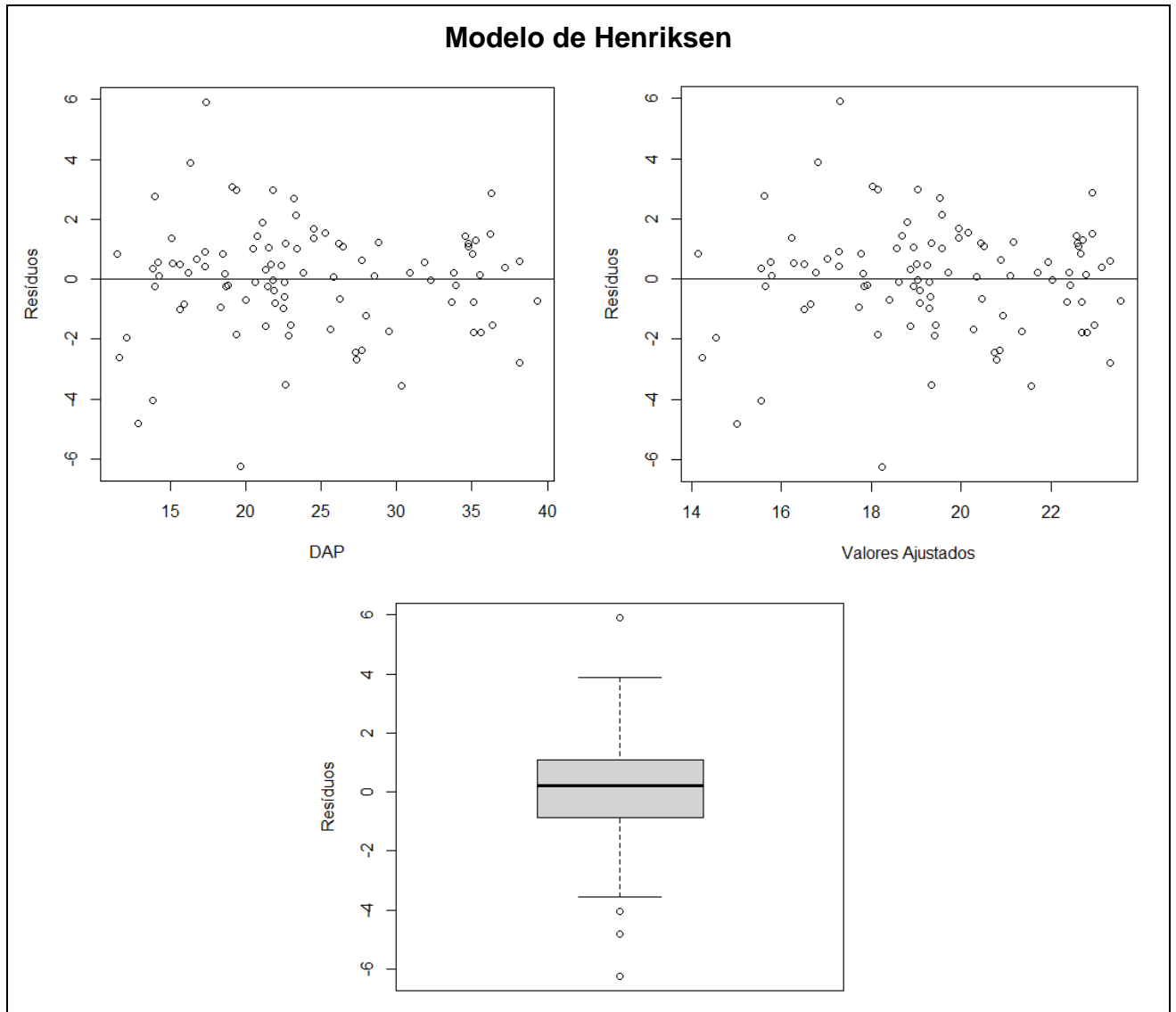


Figura 37 – Gráfico de resíduos e boxplot para o modelo de Henriksen. Fonte: Autor (2021).



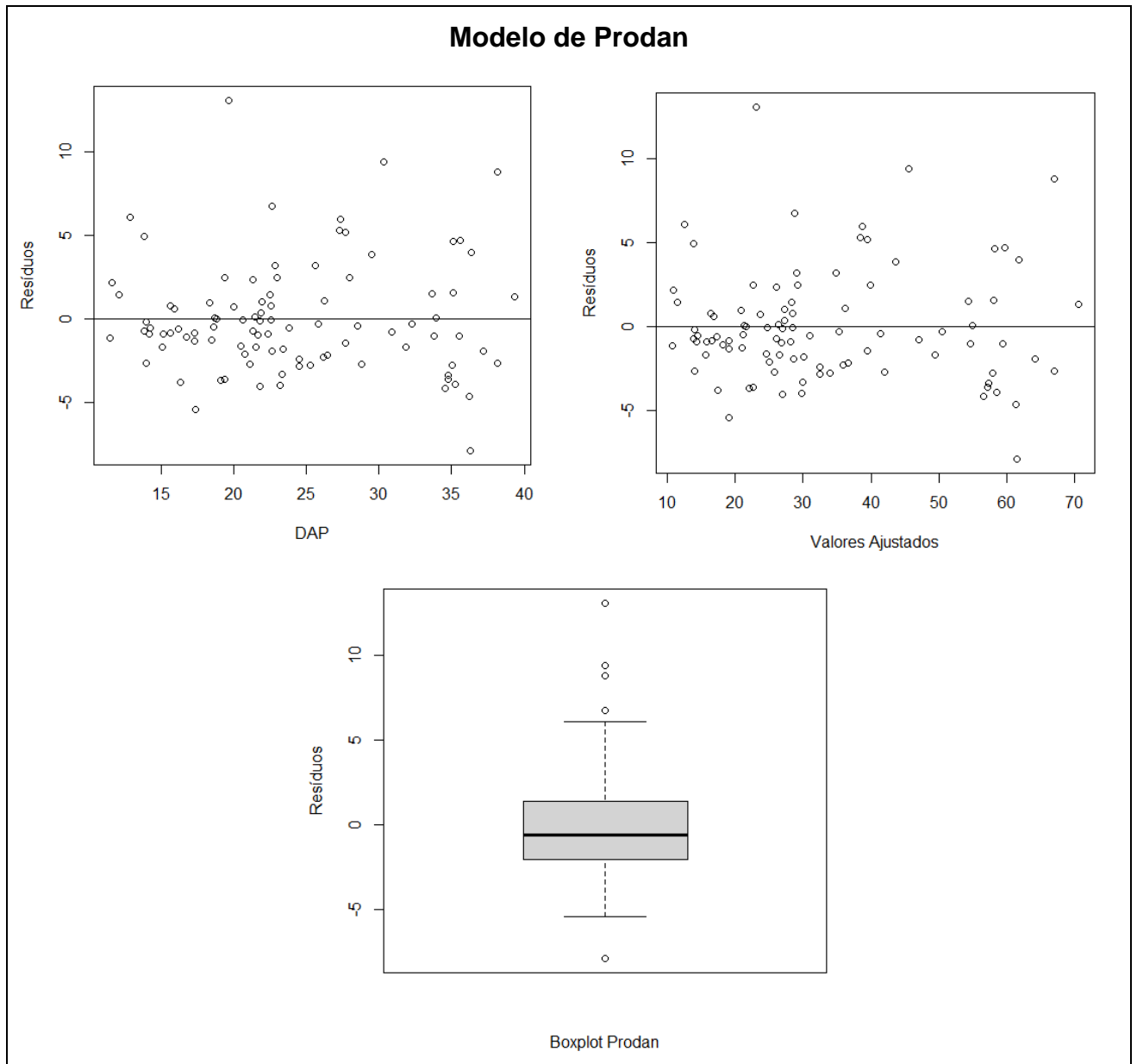


Figura 38 – Gráfico de resíduos e boxplot para o modelo de Prodan. Fonte: Autor (2021).

É possível perceber que todos os modelos possuem amplitudes de resíduos similares em torno do zero. Não há, também, nenhuma tendência associada aos modelos, visto que a mediana dos resíduos está muito próxima de 0 em todos os casos e também por não terem sido verificados afunilamentos nem tendências nos gráficos de resíduos. Com base na análise dos gráficos de resíduos, percebe-se que nenhum modelo tem heteroscedasticidade. Os resíduos são homocedásticos com uma distribuição homogênea em torno de zero para todos. O modelo de Prodan foi escolhido para representar a equação hipsométrica de ajuste das alturas, sendo caracterizado pela Equação 32.

$$\frac{DAP^2}{(H - 1,3)} = 0,863761 + 0,484359 * DAP + 0,032767 * DAP^2 \quad \text{Equação 32}$$

Em que:

DAP = Diâmetro a altura do peito (cm).

H = Altura(m);

Com o software R, elaborou-se o gráfico de dispersão e a curva de ajuste para os 95 pares ordenados de dados utilizados na determinação do modelo hipsométrico, (Figura 39).

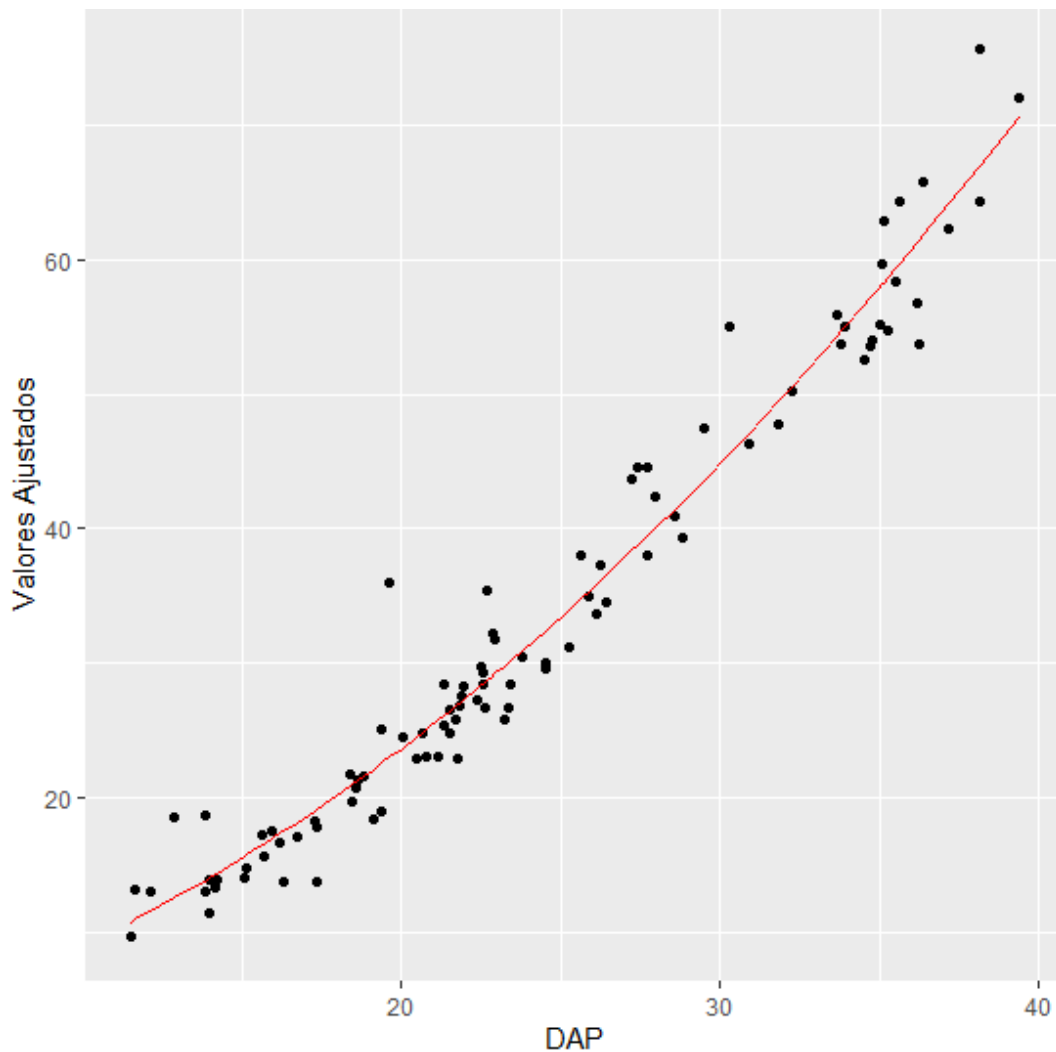


Figura 39 – Curva de ajuste do modelo de Prodan. Fonte: Autor (2021).

A partir da equação desenvolvida, calculou-se as alturas segundo o modelo de Prodan para os 328 DAP levantados nas 4 unidades amostrais.

#### 4.1.9. Cubagem Rigorosa

Realizado o procedimento de seleção e medição das 12 árvores, foi desenvolvida a cubagem pelo método Smalian. A seguir, são destacados os dados referentes aos diâmetros ( $d_i$ ) das toras, os comprimentos das toras e das pontas e os volumes calculados das 12 árvores cubadas:

Tabela 13 – Cubagem rigorosa das árvores abatidas. Fonte: Autor (2021).

Árv #	$d_1$ (cm)	$d_2$ (cm)	$d_3$ (cm)	$d_4$ (cm)	$d_5$ (cm)	$d_6$ (cm)	$d_7$ (cm)	$L_{\text{tora}}$ (m)	$L_{\text{ponta}}$ (m)	$V_{\text{total c/c}}$ (m <sup>3</sup> )
1	24,5	19,6	18,7	16,4	13,7	9,3	3,4	3,0	1,2	0,373
2	25,7	17,7	16,1	13,5	9,4	5,0	-	3,0	1,2	0,280
3*	25,0	17,0	16,1	13,9	11,8	-	-	3,0	6,9	0,290
4*	32,1	22,5	21,9	16,7	14,4	10,0	5,2	3,0	4,3	0,498
5	30,6	22,3	21,4	19,7	17,5	13,0	5,9	3,0	2,7	0,545
6	33,4	23,2	22,9	19,1	17,6	11,3	9,1	3,0	3,2	0,588
7*	25,1	19,4	17,9	16,7	14,5	9,2	-	3,0	3,8	0,372
8	25,4	17,9	17,6	15,4	11,3	7,3	2,2	3,0	0,9	0,324
9	22,8	17,5	17,2	14,5	12,1	8,2	-	3,0	3,0	0,300
10	27,0	18,9	18,3	16,8	13,5	10,4	4,1	3,0	3,1	0,387
11*	22,3	16,6	15,1	12,6	9,3	6,0	-	3,0	3,4	0,242
12	25,3	18,0	16,8	13,7	10,6	6,5	2,7	3,0	1,1	0,300
<b>TOTAL:</b>										4,500

(\*): Árvores onde ocorreram a quebra da ponta

A partir disso, foi possível organizar a Tabela 14, que apresenta o resumo dos dados levantados no processo de cubagem.

Tabela 14 – Resumo dos dados levantados pela cubagem rigorosa. Fonte: Autor (2021).

Identificação	CAP (cm)	DAP (cm)	H (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	69,5	22,1225	19,2	0,3733
2	62,6	19,9262	16,2	0,2802
3	62,4	19,8625	18,9	0,2899
4	82,5	26,2606	22,3	0,4980
5	79,9	25,4330	20,7	0,5454
6	85,6	27,2473	21,2	0,5875
7	67,1	21,3586	18,8	0,3720
8	67,2	21,3904	18,9	0,3237
9	62,1	19,7670	18,0	0,3003
10	70,2	22,3454	21,1	0,3872
11	63,1	20,0854	18,4	0,2425
12	69,4	22,0907	19,1	0,3000

#### 4.1.10. Modelo Volumétrico e Volume Total

Para o ajuste do modelo volumétrico, foram organizados os dados levantados na cubagem rigorosa, e linearizou-se os dados conforme a pressuposição do modelo. Os dados linearizados são apresentados na Tabela 15. A quantidade de casas decimais acatadas para esse modelo, se dá devido ao cálculo ter sido realizado pelo software R, logo, sendo levado em conta o máximo de casas decimais quanto possível. O Apêndice B salienta o script desenvolvido para a aplicação das regressões e os resultados gerados para o modelo volumétrico testado.

Tabela 15 – Ajuste de dados para o modelo volumétrico. Fonte: Autor (2021).

Identificação	Ln (DAP)	Ln (H)	Ln (Volume)
1	3,096596867	2,954910279	-0,985308561
2	2,992035392	2,785011242	-1,272266278
3	2,98883539	2,939161922	-1,238286824
4	3,268068407	3,104586678	-0,697071713

5	3,236045967	3,0301337	-0,606292616
6	3,304955397	3,054001182	-0,531834471
7	3,061454158	2,93385687	-0,988763348
8	3,062943362	2,939161922	-1,127961024
9	2,984016103	2,890371758	-1,202823808
10	3,106618425	3,04927304	-0,948742564
11	2,999990884	2,912350665	-1,416886657
12	3,095156982	2,949688335	-1,204065913

Com o Software R, realizou-se a regressão linear do modelo. Foram calculados também, os valores de  $R^2$ ,  $R^2$ ajustado, Erro Padrão da Estimativa (Syx) e a estatística F. A Tabela 16 mostra os coeficientes encontrados para o modelo volumétrico e demais estatísticas.

Tabela 16 – Parâmetros do modelo volumétrico. Fonte: Autor (2021).

Regressão Volumétrica por Schumacher e Hall (1933)							
Modelo	Coeficientes			$R^2$	$R^2$ aj	Syx	F
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$				
Schumacher e Hall	-8,33546	2,32802	0,03406	0,8849	0,8593	0,1054	34,59

O modelo evidenciou um bom ajuste das variáveis, com um  $R^2$ ajustado de 85,93%. Destacou, também, um baixo erro padrão da estimativa (Syx). Além disso, por meio da análise dos gráficos de boxplot e resíduos, existentes na Figura 40, percebe-se que não há ocorrência de Heteroscedasticidade no modelo.

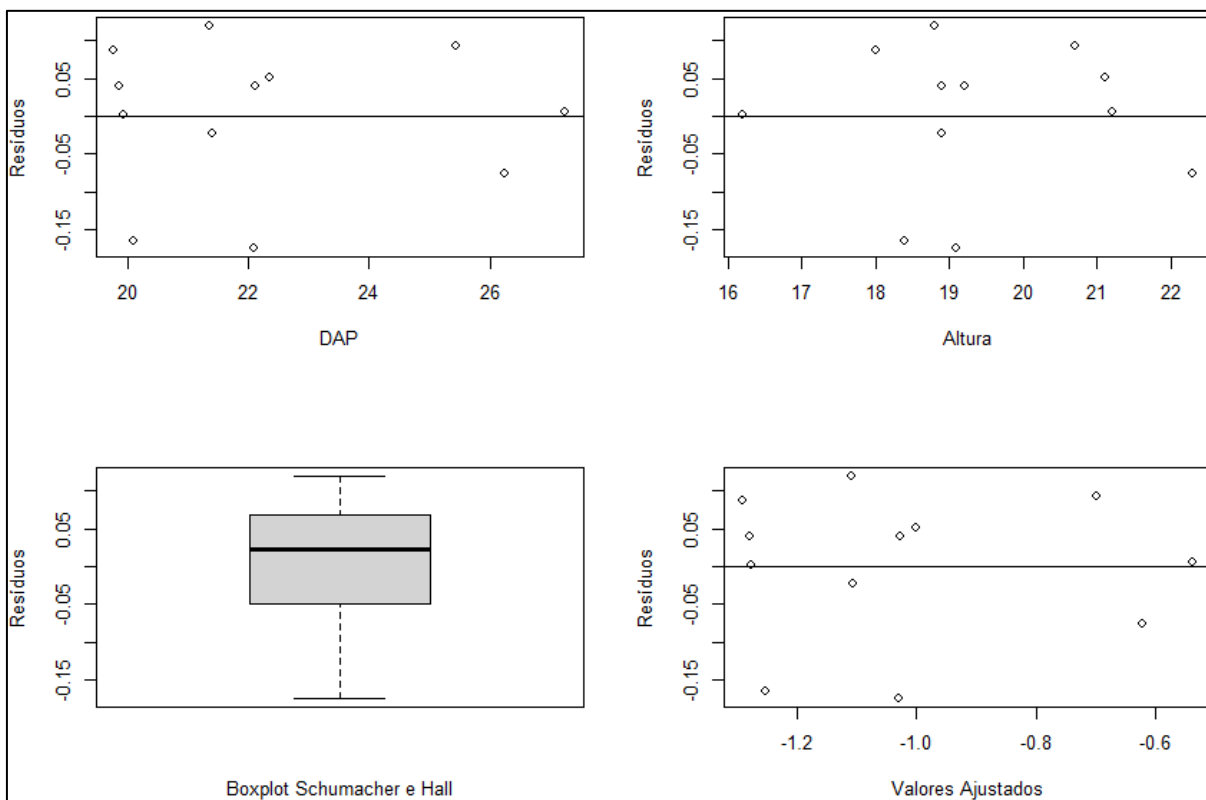


Figura 40 – Gráficos de resíduos e boxplot para o modelo de Schumacher e Hall. Fonte: Autor (2021).

Dessa forma, para o povoamento estudado, o modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933) pode ser representado pela Equação 33.

$$\ln V = -8,33546 + 2,32802 * \ln DAP + 0,03406 * \ln H$$

Equação 33

Em que:

V = Volume da árvore (m<sup>3</sup>);

DAP = Diâmetro a Altura do Peito (cm);

H = Altura da árvore (m).

A partir da equação desenvolvida, com o software R, elaborou-se o gráfico de dispersão e a curva de ajuste para os dados utilizados na determinação do modelo, (Figura 41).

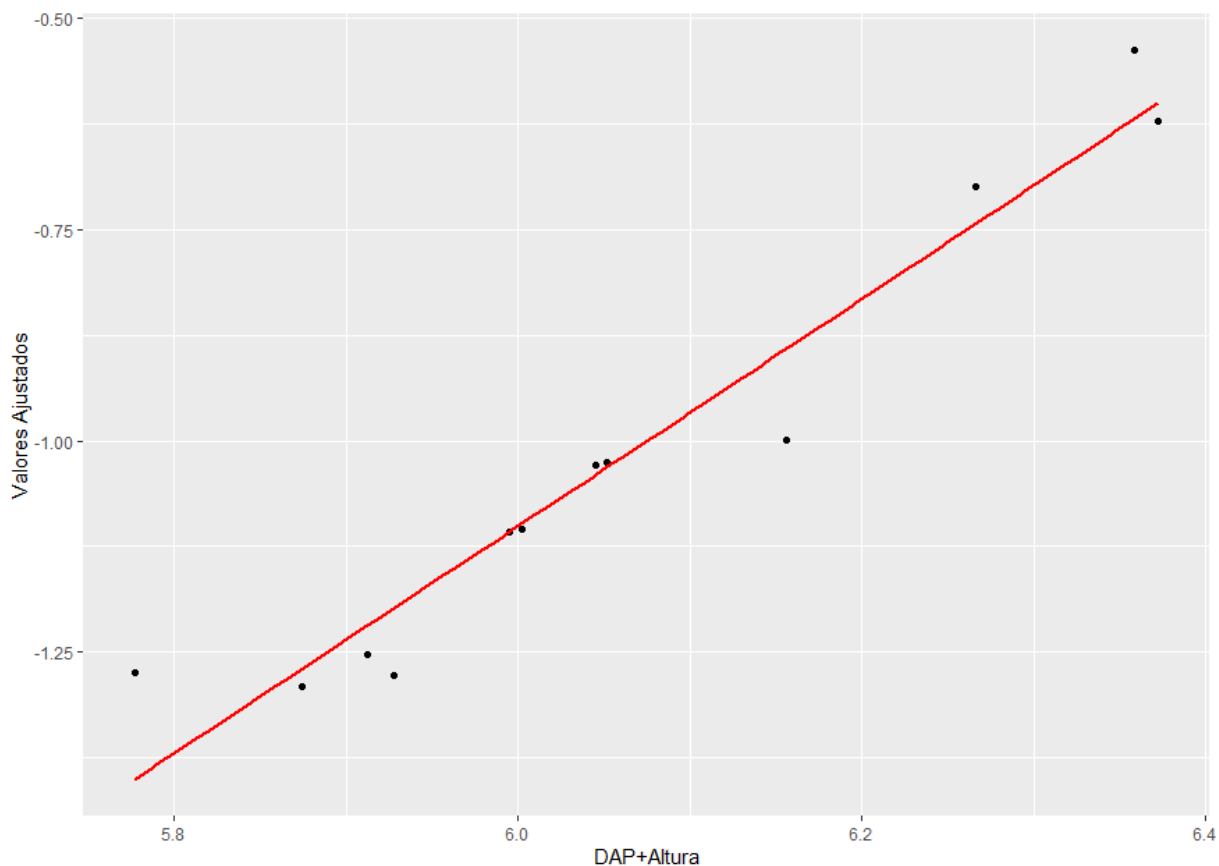


Figura 41 – Gráfico da curva de ajuste para o modelo de Schumacher e Hall. Fonte: Autor (2021).

A partir da equação volumétrica desenvolvida, e das alturas calculadas pelo modelo hipsométrico estimado, calculou-se os volumes segundo o modelo de Schumacher e Hall para os 328 DAP e Alturas das 4 unidades amostrais. O Volume total de madeira por hectare foi de 506,97 m<sup>3</sup>/ha, totalizando 5272,46 m<sup>3</sup> de madeira em toda a propriedade.

#### 4.1.11. Equação de Afilamento e Sortimentos

Ainda utilizando os dados da cubagem rigorosa, elaborou-se uma tabela para o cálculo da Equação de Afilamento e Sortimentos. Foram elencados os Diâmetros e Alturas das árvores em suas respectivas Alturas Relativas ( $h_i/H$ ) e Diâmetros Relativos ( $d_i/DAP$ ), tal como a Tabela 17.

Tabela 17 – Dados para o modelo de afilamento. Fonte: Autor (2021).

#	Diâmetro	Altura	di/DAP	hi/H
1	24,5000	0,0	1,1075	0,0000
	22,1225	1,3	1,0000	0,0677
	19,6000	3,0	0,8860	0,1563
	18,7000	6,0	0,8453	0,3125
	16,4000	9,0	0,7413	0,4688
	13,7000	12,0	0,6193	0,6250
	9,3000	15,0	0,4204	0,7813
	3,4000	18,0	0,1537	0,9375
	0,0000	19,2	0,0000	1,0000
2	25,7000	0,0	1,2898	0,0000
	19,9262	1,3	1,0000	0,0802
	17,7000	3,0	0,8883	0,1852
	16,1000	6,0	0,8080	0,3704
	13,5000	9,0	0,6775	0,5556
	9,4000	12,0	0,4717	0,7407
	5,0000	15,0	0,2509	0,9259
	0,0000	16,2	0,0000	1,0000
3	25,0000	0,0	1,2587	0,0000
	19,8625	1,3	1,0000	0,0688
	17,0000	3,0	0,8559	0,1587
	16,1000	6,0	0,8106	0,3175
	13,9000	9,0	0,6998	0,4762
	11,8000	12,0	0,5941	0,6349
	0,0000	18,9	0,0000	1,0000
4	32,1000	0,0	1,2224	0,0000
	26,2606	1,3	1,0000	0,0583
	22,5000	3,0	0,8568	0,1345
	21,9000	6,0	0,8340	0,2691
	16,7000	9,0	0,6359	0,4036
	14,4000	12,0	0,5484	0,5381
	10,0000	15,0	0,3808	0,6726
	5,2000	18,0	0,1980	0,8072
	0,0000	22,3	0,0000	1,0000
5	30,6000	0,0	1,2032	0,0000
	25,4330	1,3	1,0000	0,0628
	22,3000	3,0	0,8768	0,1449
	21,4000	6,0	0,8414	0,2899



#	Diâmetro	Altura	di/DAP	hi/H
	19,7000	9,0	0,7746	0,4348
	17,5000	12,0	0,6881	0,5797
	13,0000	15,0	0,5111	0,7246
	5,9000	18,0	0,2320	0,8696
	0,0000	20,7	0,0000	1,0000
6	33,4000	0,0	1,2258	0,0000
	27,2473	1,3	1,0000	0,0613
	23,2000	3,0	0,8515	0,1415
	22,9000	6,0	0,8404	0,2830
	19,1000	9,0	0,7010	0,4245
	17,6000	12,0	0,6459	0,5660
	11,3000	15,0	0,4147	0,7075
	9,1000	18,0	0,3340	0,8491
0,0000	21,2	0,0000	1,0000	
7	25,1000	0,0	1,1752	0,0000
	21,3586	1,3	1,0000	0,0691
	19,4000	3,0	0,9083	0,1596
	17,9000	6,0	0,8381	0,3191
	16,7000	9,0	0,7819	0,4787
	14,5000	12,0	0,6789	0,6383
	9,2000	15,0	0,4307	0,7979
	0,0000	18,8	0,0000	1,0000
8	25,4000	0,0	1,1874	0,0000
	21,3904	1,3	1,0000	0,0688
	17,9000	3,0	0,8368	0,1587
	17,6000	6,0	0,8228	0,3175
	15,4000	9,0	0,7199	0,4762
	11,3000	12,0	0,5283	0,6349
	7,3000	15,0	0,3413	0,7937
	2,2000	18,0	0,1028	0,9524
	0,0000	18,9	0,0000	1,0000
9	22,8000	0,0	1,1534	0,0000
	19,7670	1,3	1,0000	0,0722
	17,5000	3,0	0,8853	0,1667
	17,2000	6,0	0,8701	0,3333
	14,5000	9,0	0,7335	0,5000
	12,1000	12,0	0,6121	0,6667
	8,2000	15,0	0,4148	0,8333

#	Diâmetro	Altura	di/DAP	hi/H
	0,0000	18,0	0,0000	1,0000
<b>10</b>	27,0000	0,0	1,2083	0,0000
	22,3454	1,3	1,0000	0,0616
	18,9000	3,0	0,8458	0,1422
	18,3000	6,0	0,8190	0,2844
	16,8000	9,0	0,7518	0,4265
	13,5000	12,0	0,6042	0,5687
	10,4000	15,0	0,4654	0,7109
	4,1000	18,0	0,1835	0,8531
	0,0000	21,1	0,0000	1,0000
	<b>11</b>	22,3000	0,0	1,1103
20,0854		1,3	1,0000	0,0707
16,6000		3,0	0,8265	0,1630
15,1000		6,0	0,7518	0,3261
12,6000		9,0	0,6273	0,4891
9,3000		12,0	0,4630	0,6522
6,0000		15,0	0,2987	0,8152
0,0000		18,4	0,0000	1,0000
<b>12</b>	25,3000	0,0	1,1453	0,0000
	22,0907	1,3	1,0000	0,0681
	18,0000	3,0	0,8148	0,1571
	16,8000	6,0	0,7605	0,3141
	13,7000	9,0	0,6202	0,4712
	10,6000	12,0	0,4798	0,6283
	6,5000	15,0	0,2942	0,7853
	2,7000	18,0	0,1222	0,9424
	0,0000	19,1	0,0000	1,0000

Então, utilizando-se o software R, foi feita a regressão polinomial de 5ª ordem dos pares de dados segundo o Modelo do Polinômio do 5º Grau. Foram calculados os coeficientes do modelo, assim como os parâmetros estatísticos  $R^2$ ,  $R^2$ ajustado, Erro Padrão da Estimativa  $S_{yx}$  e a Estatística F. O Apêndice C destaca o script desenvolvido para a aplicação das regressões e os resultados gerados para o modelo de Afilamento testado. A Tabela 18 enfatiza os resultados calculados.

Tabela 18 – Parâmetros do modelo de afilamento. Fonte: Autor (2021).

Equação de Afilamento – Polinômio do 5º Grau $f(h_i/H)$									
Coeficientes						R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> aj	Syx	F
$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$				
1,19186	-3,97682	17,33372	-37,19194	35,04525	-12,40080	0,9806	0,9796	0,05231	970,2

Nota-se que o modelo apresentou excelente ajuste, com R<sup>2</sup> ajustado de 97,96%. Além disso, o modelo destaca baixo Erro Padrão da Estimativa, sendo de 0,05231. Isso demonstra que o modelo de afilamento calculado possui alta precisão nos valores estimados. A Figura 42 evidencia os gráficos de resíduos do modelo.

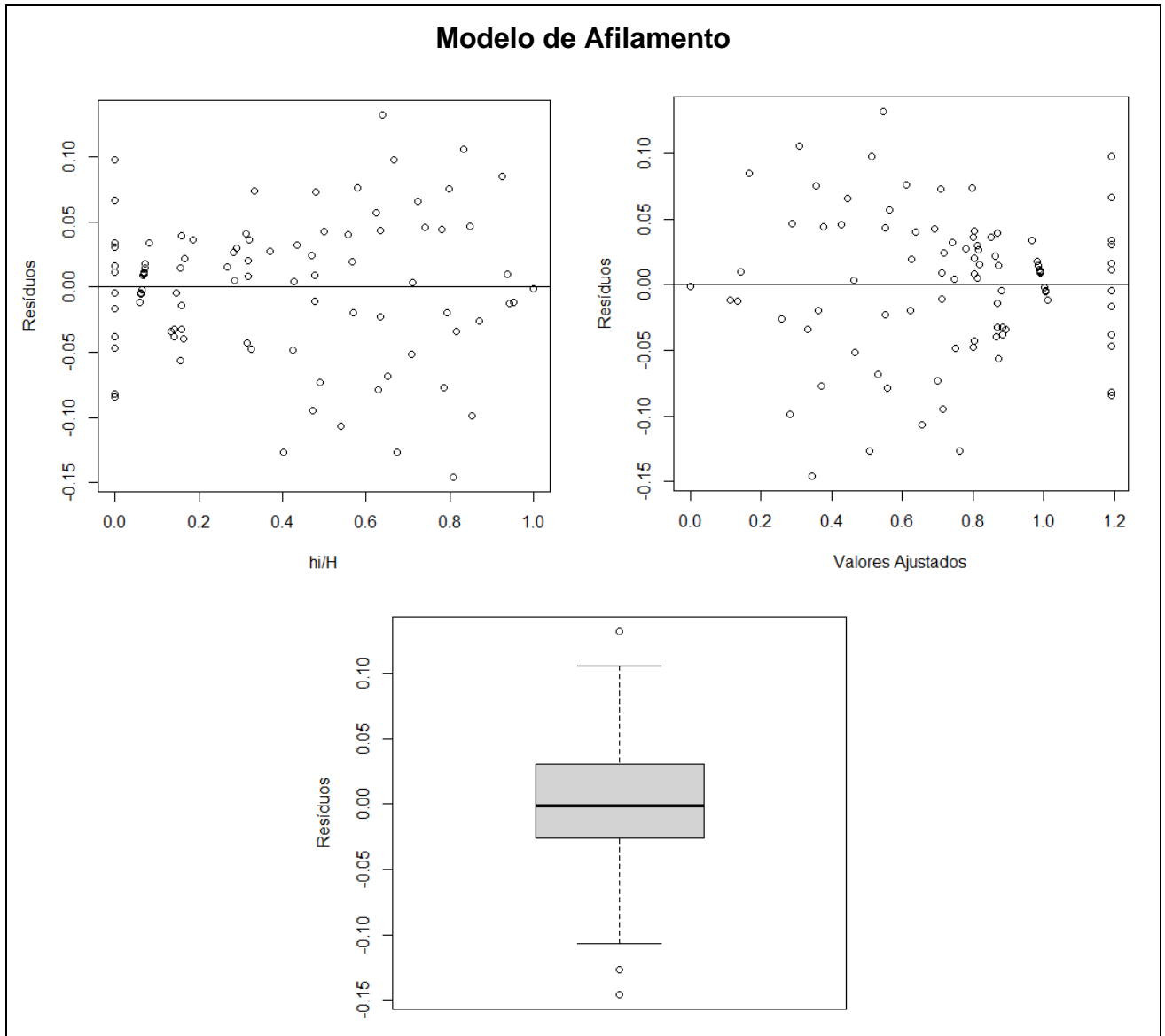


Figura 42 – Gráficos de resíduos e boxplot para o modelo de Afilamento. Fonte: Autor (2021).

Pela análise do boxplot e dos gráficos de resíduos, é possível concluir que não está ocorrendo heteroscedasticidade no modelo de afilamento. Por isso, é possível representá-lo pela Equação 34.

$$\begin{aligned} \frac{d_i}{DAP} = & 1,19186 - 3,97682 \left(\frac{h_i}{H}\right) + 17,33372 \left(\frac{hi}{H}\right)^2 - 37,19194 \left(\frac{hi}{H}\right)^3 \\ & + 35,04525 \left(\frac{hi}{H}\right)^4 - 12,40080 \left(\frac{hi}{H}\right)^5 \end{aligned} \quad \text{Equação 34}$$

Em que:

$d_i$  = diâmetro da  $i$ -ésima tora (cm);

DAP = Diâmetro a altura do peito (cm);

$h_i$  = Altura do  $i$ -ésimo diâmetro medido (m);

H = Altura da árvore (m).

A partir da equação, bem como utilizando o software R, traçou-se o perfil de Afilamento representado pelo ajuste dos valores de  $d_i/DAP$  e  $h_i/H$  usados na construção e determinação do modelo. A Figura 43 apresenta o perfil de Afilamento calculado.

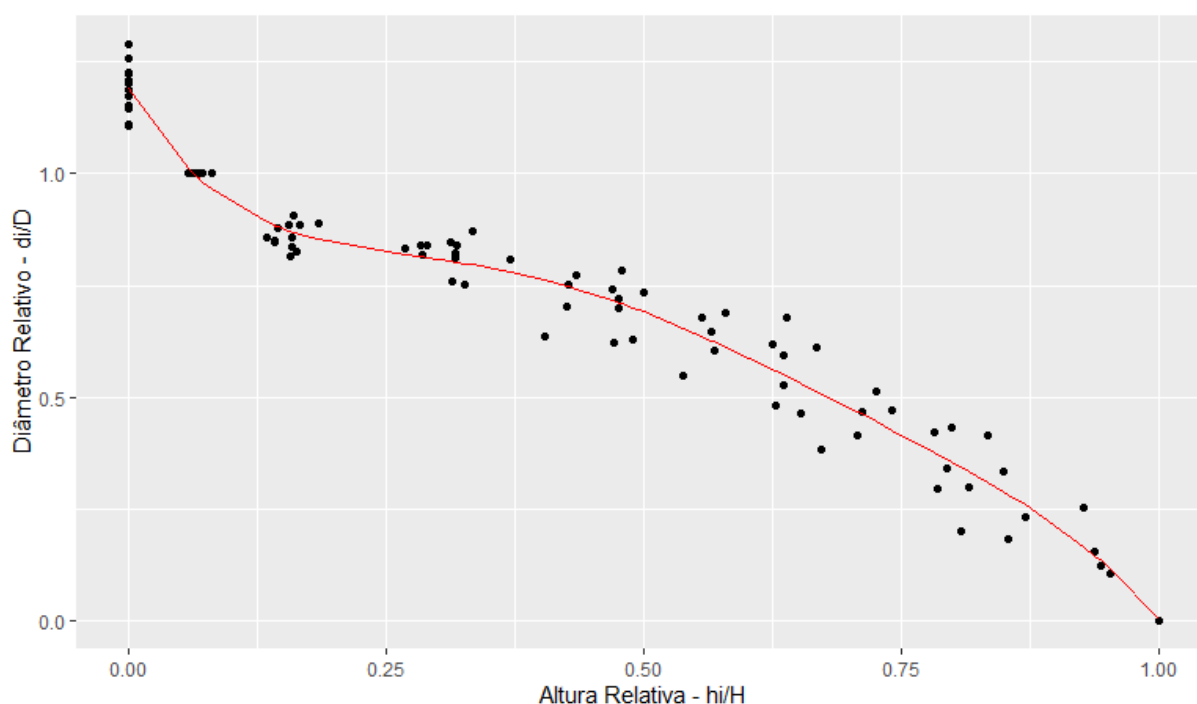


Figura 43 – Gráfico da curva de ajuste do modelo de afilamento. Fonte: Autor (2021).

O Perfil de afilamento descreve o afilamento do tronco das árvores do povoamento. Percebe-se pela curva no gráfico que o modelo apresenta o comportamento esperado para o tronco de conífera, conforme descrito por Souza (2009), possuindo formato de neilóide até uma altura relativa de aproximadamente 0,20, onde passa a transcrever um formato de parabolóide até aproximadamente uma altura relativa de 0,85, quando passa a transcrever um cone.

#### 4.1.12. Equação de Volume de Sortimentos

Determinados os coeficientes da Equação de Afilamento, calculou-se os coeficientes da Equação de Volume de Sortimentos, sendo representada pela

Equação 35.

$$V = \frac{\pi}{40000} * DAP^2 * \left[ 1,4205 \left(\frac{h_i}{H}\right) - 4,7398 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + 19,0446 \left(\frac{h_i}{H}\right)^3 - 56,6303 \left(\frac{h_i}{H}\right)^4 \right. \\ \left. + 135,9614 \left(\frac{h_i}{H}\right)^5 - 266,2744 \left(\frac{h_i}{H}\right)^6 + 385,2573 \left(\frac{h_i}{H}\right)^7 - 379,5882 \left(\frac{h_i}{H}\right)^8 \right. \\ \left. + 238,9544 \left(\frac{h_i}{H}\right)^9 - 86,9178 \left(\frac{h_i}{H}\right)^{10} + 13,9800 \left(\frac{h_i}{H}\right)^{11} \right]_{h_{inf}}^{h_{sup}}$$

Equação 35

Calculou-se os volumes de sortimentos utilizando o software SisPinus, tal como será detalhado no item 4.2. Para os cálculos de sortimentos, foram levadas em conta as informações levantadas nos mercados regionais. O preço final de cada sortimento foi feito baseado na média dos valores repassados pelas serrarias pesquisadas. Apesar de todos os valores repassados terem sido fornecidos em R\$/m<sup>3</sup>, vale ressaltar que algumas empresas compram toras em Tonelada e outras em m<sup>3</sup>.

Foram pesquisados valores em 8 serrarias e 4 empresas de cavaco nas cidades de Barracão – PR, Cascavel – PR, Toledo – PR, Francisco Beltrão – PR, Dionísio Cerqueira – SC e Palma Sola – SC. Os nomes, diâmetros mínimos, comprimento e preço das toras para os sortimentos são dados segundo apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Relação dos sortimentos florestais. Fonte: Autor (2021).

Identificação	Diâmetros (cm)	Comprimento (m)	R\$/ m <sup>3</sup>
Resíduos	0 a 8	-	-
Cavaco	8 a 25	3	17,75
Serraria Tipo 1	18 a 25	3	109,05
Serraria Tipo 2	>25	3	140,75

#### 4.1.13. Resumo do Inventário Florestal

Em vista dos valores levantados, calculados e evidenciados, assim como os modelos de ajuste das equações hipsométricas, volumétricas, de afilamento e de volume de sortimentos, tem-se um resumo descritivo do Inventário Florestal calculado, exposto na Tabela 20.

Tabela 20 – Resumo do Inventário Florestal. Fonte: Autor (2021).

<b>Resumo do Inventário Florestal</b>	
Área total da Floresta (ha):	10,4
Total de árvores Plantadas	16000
Área UA 1 (m <sup>2</sup> )	630,00
Área UA 2 (m <sup>2</sup> )	600,00
Área UA 3 (m <sup>2</sup> )	634,48
Área UA 4 (m <sup>2</sup> )	644,80
Área Total das Unidades Amostrais (m <sup>2</sup> )	2509,28
Área Total das Unidades Amostrais (ha)	0,250928
Observações Feitas:	478
Árvores Medidas:	328
Árvores Saudáveis:	326
Árvores Bifurcadas:	2
Falhas:	113
Árvores Mortas em Pé:	37
Árvores por hectare (Ano 0):	1538
Árvores por hectare (15 anos):	1307
Taxa de Sobrevivência inicial (%):	99,00%
Taxa de Sobrevivência aos 15 anos(%):	68,62%
Diâmetro Quadrático Médio (cm)	22,69
Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	52,85
Altura dominante (m):	21,7
Índice de Sítio (m):	21,7
Volume Total (m <sup>3</sup> /ha)	506,97
Volume Total (m <sup>3</sup> )	5272,46

A Tabela 21 destaca a classificação dos diâmetros e alturas das 328 árvores levantadas em suas respectivas Classes de Diâmetro e Altura, considerou-se os limites de classe com 4 casas decimais.

Tabela 21 – Classificação das árvores medidas em classes de altura e diâmetro. Fonte: Autor (2021).

Classe de Diâmetro (cm)		Classe de Altura (m)							
		< 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16	16 a 18	18 a 20	20 a 22	22 a 24
		10	12	14	16	18	20	22	24
< 8	8	2	3						
8 a 10	10		2	3					
10 a 12	12			10					
12 a 14	14				17				
14 a 16	16				19	9			
16 a 18	18					29			
18 a 20	20					32	8		
20 a 22	22						57		
22 a 24	24						36		
24 a 26	26						19	7	
26 a 28	28							22	
28 a 30	30							17	
30 a 32	32							10	
32 a 34	34							4	7
34 a 36	36								9
36 a 38	38								4
38 a 40	40								3

A Tabela 22 mostra a estatística descritiva para todos os dados de Diâmetro, Altura e Volumes calculados.

Tabela 22 – Estatística descritiva para as variáveis de DAP, Altura e Volume. Fonte: Autor (2021).

Dados	Variáveis		
	DAP	H	V
Soma	7108,91	6044,35	128,1054
Valor Mínimo	4,17	6,34	0,0071
Primeiro Quadrante	17,41	17,06	0,2045
Mediana	21,33	18,73	0,3289
Média	21,61	18,37	0,3894



Terceiro Quadrante	25,24	20,13	0,4982
Valor Máximo	39,24	23,21	1,3783
Desvio Padrão	6,54	2,66	0,2691
Variância	42,81	7,06	0,0724
Coeficiente de Variação	30,28	14,46	69,10

## 4.2. Simulação no Software

Foi realizada a simulação no software Sispinus após o levantamento dos dados para o inventário. As simulações contemplaram as 3 propostas previstas no projeto.

### 4.2.1. Ajuste de Equações

Antes de prosseguir para as entradas de dados referentes às simulações, foi necessário modificar as fórmulas do software e adaptá-las para aquelas calculadas para o povoamento florestal estudado. Dessa forma, o primeiro passo foi entrar na Aba Fórmulas e modificar as fórmulas referentes ao Índice de Sítio, Volume, Sortimentos e Integral de Sortimentos. Cada fórmula foi testada com um valor calculado para verificar sua precisão. Todas as fórmulas foram precisas e coincidiram com os valores esperados. A equação de Sortimentos, contudo, destacou uma pequena variação, visto que o resultado esperado seria 1, porém a fórmula retornou um valor calculado de 0,9913. Apesar disso, considerou-se o cálculo adequado. A seguir são ressaltadas as entradas para cada fórmula:

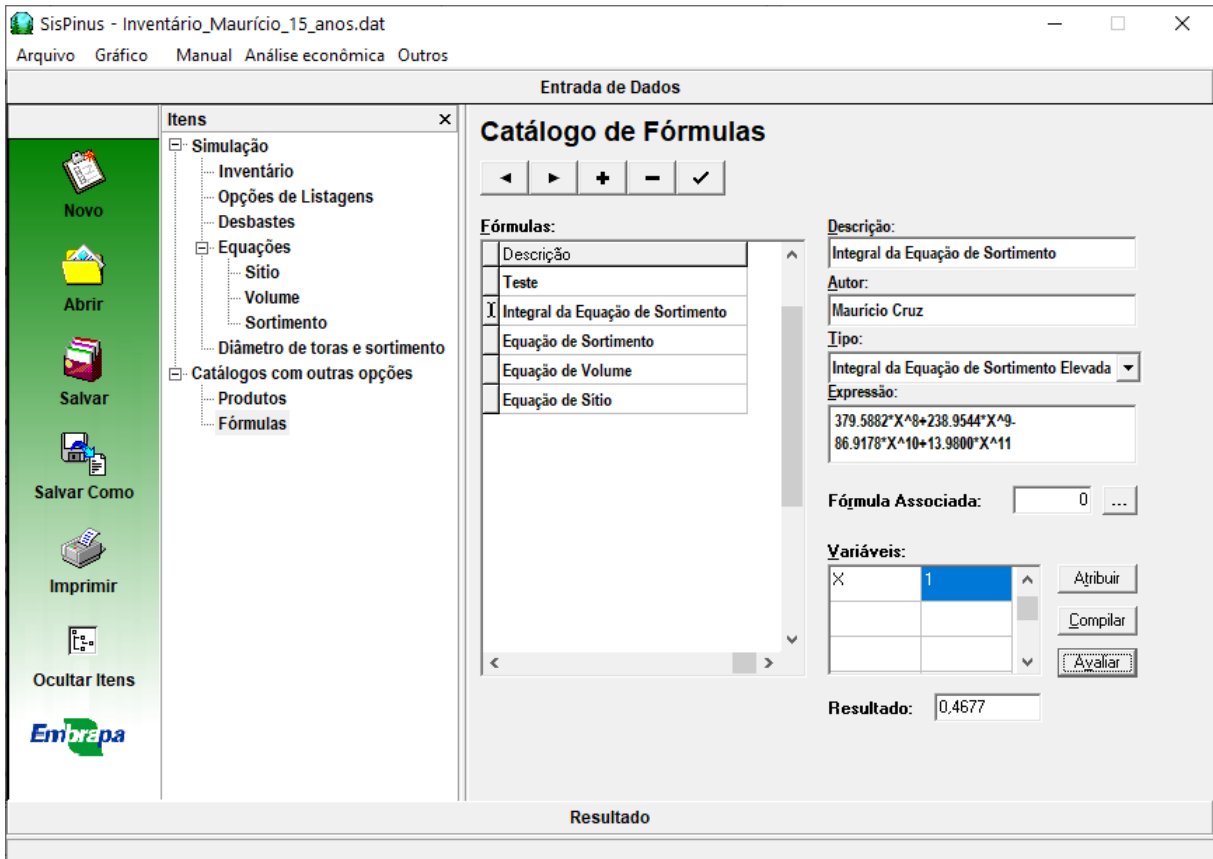


Figura 44 – Ajuste da Equação de Integral de Sortimentos. Fonte: Autor (2021).

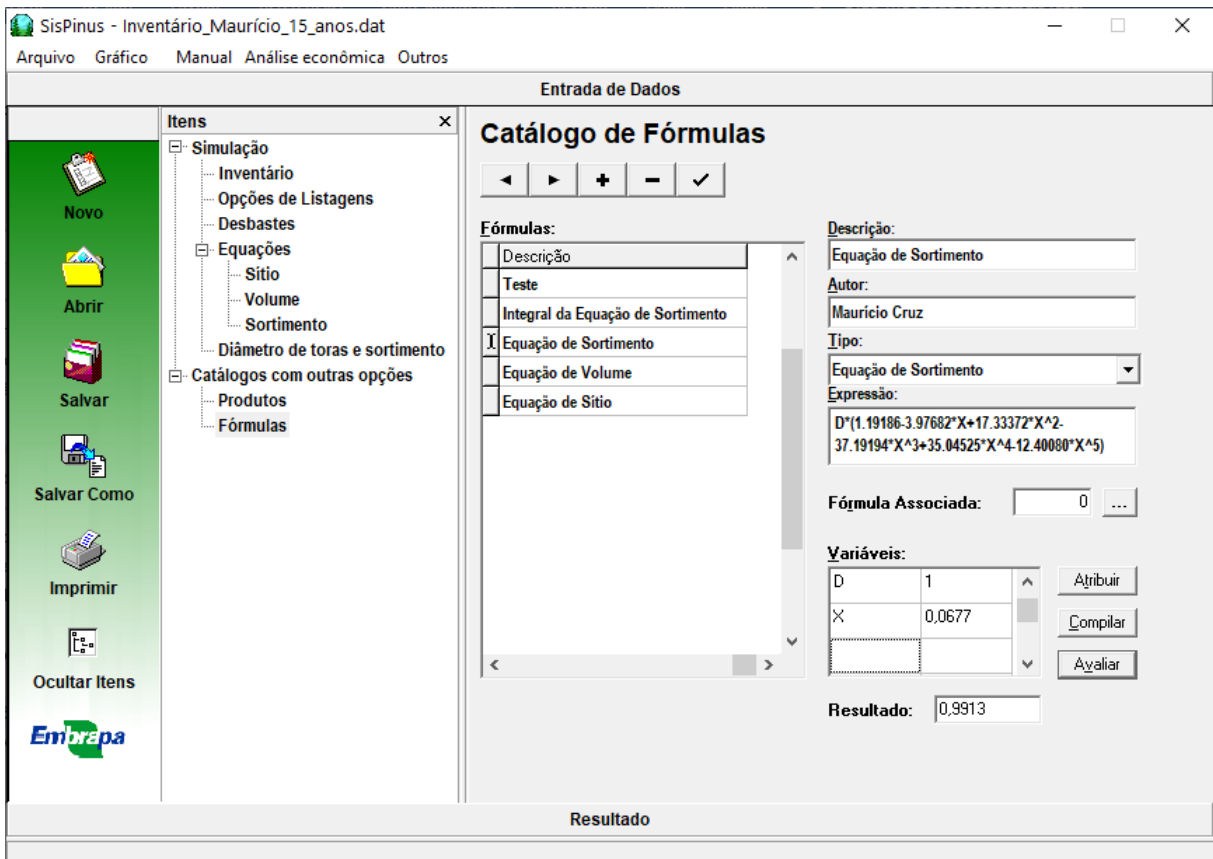


Figura 45 - Ajuste da Equação de Sortimentos. Fonte: Autor (2021).

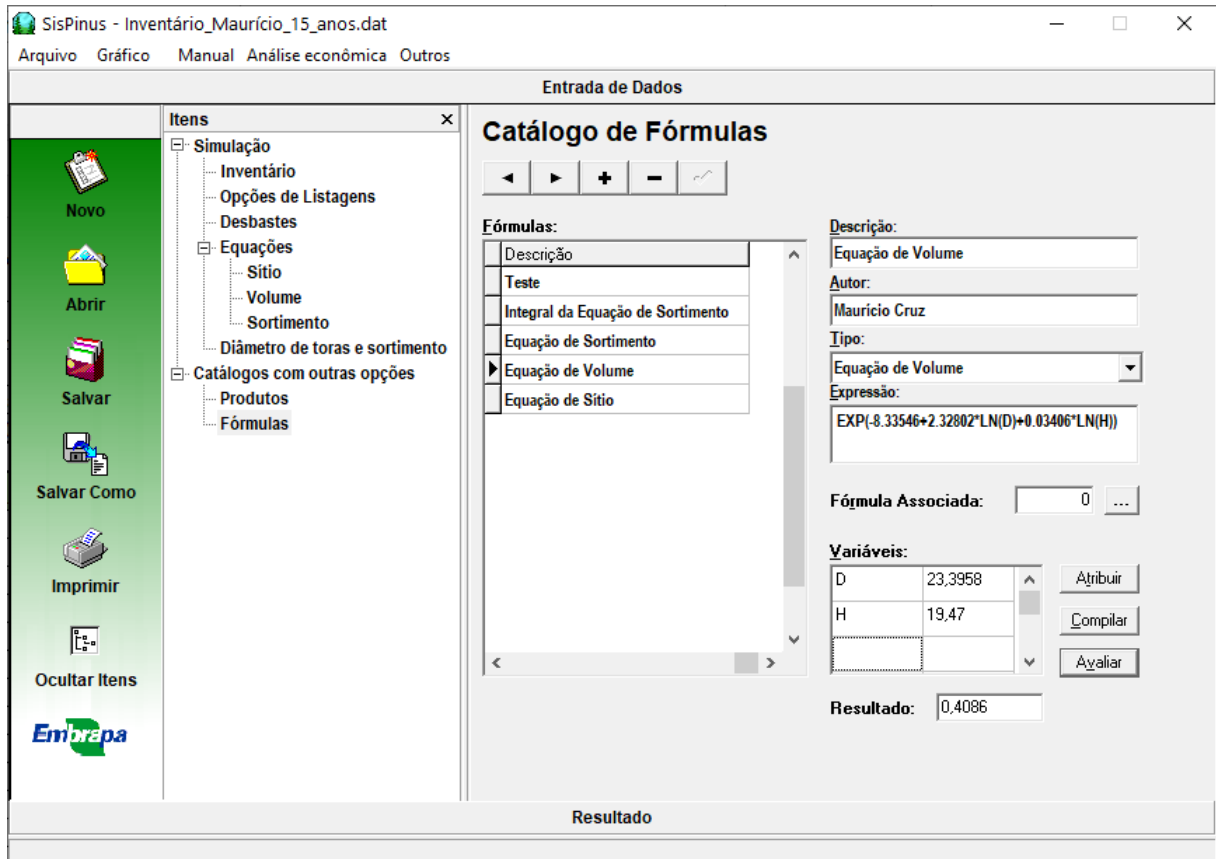


Figura 46 - Ajuste da Equação de Volume. Fonte: Autor (2021).

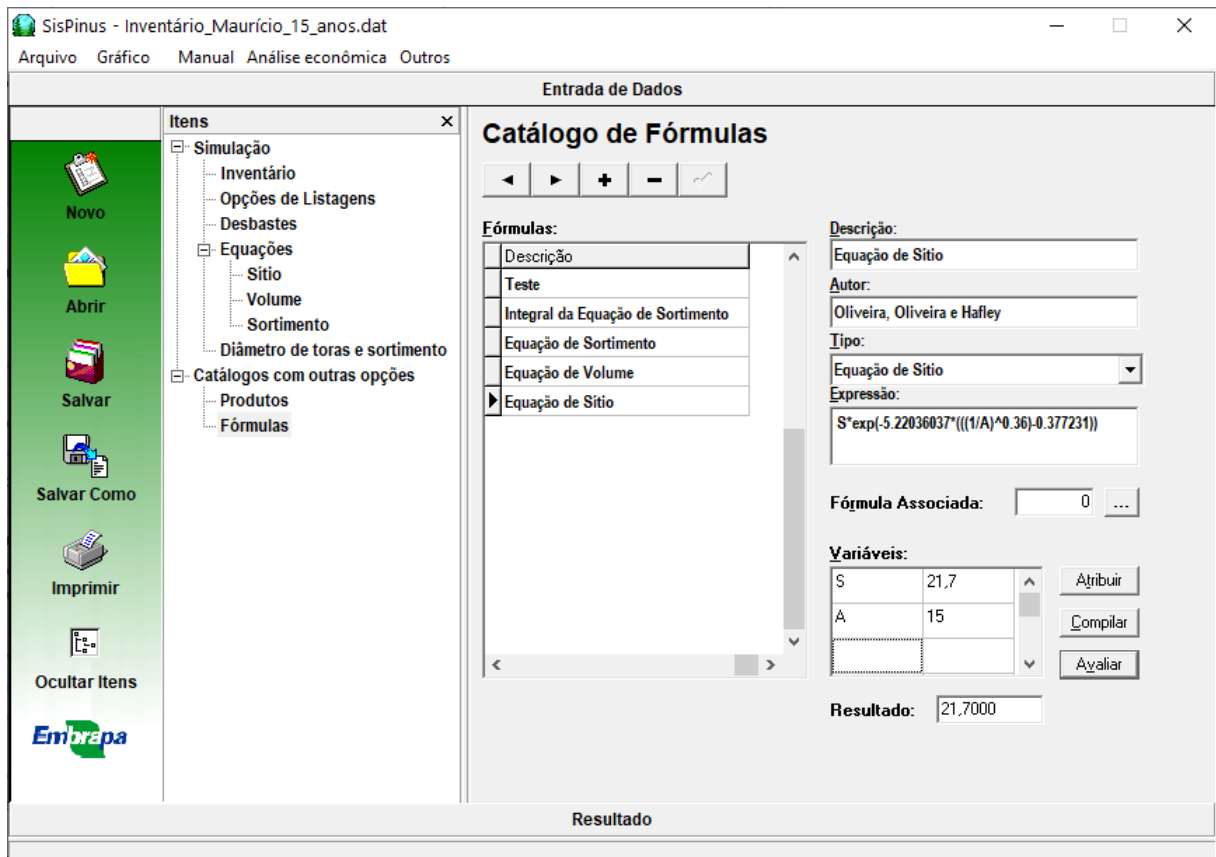


Figura 47 - Ajuste da Equação de Sítio. Fonte: Autor (2021).

Após o ajuste das fórmulas, prosseguiu-se para a Aba Equações e fez-se a chamada de cada fórmula pelo catálogo interno do software.

#### 4.2.2. Simulação do Inventário Florestal

Feito o ajuste das equações, deu-se a entrada de dados no software para aqueles calculados no inventário. Na aba Simulação, foi atribuído o valor de Índice de Sítio, sendo 21,7 metros (Figura 48).

The screenshot shows the 'Entrada de Dados' window for 'Pinus taeda'. The left sidebar contains a tree view under 'Itens' with 'Simulação' selected. The main panel has the following fields and values:

- Descrição:** Inventário Florestal - Maurício
- Índice de Sítio (m):** 21,7 (Verif. Manual)
- Inventário:** Número de árvores na idade 15: 1307; Diâmetro quadrático médio: 22,7
- Listagens:** Gerar resultados para as idades de 15 a 15, de 1 em 1 ano(s)
- Desbastes:** (empty)
- Equações:**
  - Sítio: Oliveira, Oliveira e Hafley
  - Volume: Maurício
  - Sortimento: Maurício

Buttons for 'Verificar' and 'Calcular' are located on the right side of the main panel.

Figura 48 – Entrada de dados na aba Simulação. Fonte: Autor (2021).

Na aba Inventário, escolheu-se a opção 3, sendo necessários os dados de Densidade, da ordem de 1307 árvores por hectare, Idade para a qual se está realizando o Inventário, sendo 15 anos, e os valores de Área Basal ou Diâmetro Quadrático médio. Optou-se por utilizar o diâmetro quadrático médio, sendo de 22,69 cm. Foi determinado um grau de homogeneidade igual a 5 para o povoamento. A entrada de dados é mostrada na Figura 49.

SisPinus - Inventário\_Maurício\_15\_anos.dat

Arquivo Gráfico Manual Análise econômica Outros

Entrada de Dados

Itens

- Simulação
  - Inventário
  - Opções de Listagens
  - Desbastes
- Equações
  - Sítio
  - Volume
  - Sortimento
- Catálogos com outras opções
  - Produtos
  - Fórmulas

Novo

Abrir

Salvar

Salvar Como

Imprimir

Ocultar Itens

Embrapa

**Inventário**

Número de árvores plantadas por hectare

Densidade (árvores por hectare):

Porcentagem inicial de sobrevivência:

Número de árvores por hectare em determinada idade

Densidade (árvores por hectare):

Idade com condições conhecidas:

Número de árvores por hectare e área basal ou diâmetro quadrático médio

Densidade (árvores por hectare):

Idade com condições conhecidas:

Área basal:

Diâmetro quadrático médio:

Nível de homogeneidade do plantio (1 a 10):

Plantio pouco homog. = 1 a 4

Homogeneidade média = 5 a 7

Homogeneidade alta = 8 a 10

Resultado

Figura 49 - Entrada de dados na aba Inventário. Fonte: Autor (2021).

Na aba Opções de Listagem, foi selecionada a opção “Por lista de idades”, sendo feito para a idade de 15 anos. A classe de diâmetro para elencar os sortimentos foi de 2 em 2 cm, (Figura 50).

Figura 50 - Entrada de dados na aba Opções de Listagem. Fonte: Autor (2021).

A aba desbastes foi deixada em branco visto que não foram realizados desbastes no povoamento. Foi dada entrada nos valores referentes aos sortimentos para a idade de 15 anos. Conforme informações levantadas nas serrarias, o diâmetro mínimo, comprimento e preço das toras para o processamento mecânico são salientados na Tabela 23.

Tabela 23 – Sortimentos para o processamento mecânico. Fonte: Autor (2021).

Identificação	Diâmetros (cm)	Comprimento	Preço por m <sup>3</sup>
Serraria Tipo 1	18 a 25	3	109,05
Serraria Tipo 2	>25	3	140,75

Os valores para os sortimentos foram inseridos na aba Diâmetros de Tora e Sortimentos, as abas cujos sortimentos não se encaixavam na proposta da simulação foram deixadas com preço de mercado e diâmetro mínimo iguais a 0. Foram gerados, então, os resultados da Simulação (Figura 51).

<b>SisPinus</b>								
<b>TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus taeda)</b>								
Descrição: Inventário Florestal - Mauricio								
Índice de Sítio: 21,7								
Densidade: 1307 árvores por hectare aos 15 anos								
Diâmetro quadrático médio : 22,69								
Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
15	21,7	1307	22,7	19,0	52,9	497,5	33,2	439,2
Equação de Sítio: Oliveira, Oliveira e Hafley								
Equação de Volume: Mauricio Cruz								
Equação de sortimento: Mauricio Cruz								
$tCO2 = (Vol+34\%) \times (Dens. \text{ B\u00e1sica: } 0,36) \times (C: 0,50) \times (CO2: 3,66)$								
<b>SORTIMENTO PARA \u00c1RVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (15 ANOS)</b>								
Classes DAP	\u00c1rv/ha	Altura M\u00e9dia	Volume Total	> 25	18-25	8-18	0-8	
10,0-12,0	1	14,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0-14,0	6	15,7	0,7	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0
14,0-16,0	32	16,5	4,7	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0
16,0-18,0	90	17,2	17,6	0,0	0,0	17,6	0,0	0,0
18,0-20,0	177	17,8	44,7	0,0	0,0	44,7	0,0	0,0
20,0-22,0	261	18,4	82,7	0,0	28,2	54,5	0,0	0,0
22,0-24,0	295	19,0	114,9	0,0	65,1	49,8	0,0	0,0
24,0-26,0	249	19,6	117,3	0,0	87,8	29,5	0,0	0,0
26,0-28,0	144	20,2	80,8	0,0	59,2	21,6	0,0	0,0
28,0-30,0	46	20,9	30,4	9,4	12,3	8,6	0,0	0,0
30,0-32,0	5	21,7	3,7	1,9	1,2	0,6	0,0	0,0
<b>Totais</b>		<b>19,0</b>	<b>497,5</b>	<b>11,3</b>	<b>253,9</b>	<b>232,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

Figura 51 – Resultados do software para o invent\u00e1rio na idade de 15 anos. Fonte: Autor (2021).

Pelo resultado do software, o volume de madeira ao final dos 15 anos seria de 497,5 m<sup>3</sup>/ha enquanto o calculado foi de 506,5 m<sup>3</sup>/ha, uma diferen\u00e7a de 9 m<sup>3</sup>/ha (1,78%).

Avaliou-se, portanto, que apesar da diferen\u00e7a entre os valores calculados, o software conseguiu simular e representar o povoamento de forma adequada. Dessa forma, foi tomado para os volumes de sortimentos que 253,9 m<sup>3</sup>/ha s\u00e3o destinados a Serraria Tipo I e 11,3 m<sup>3</sup>/ha destinados a Serraria Tipo 2, resultando em, respectivamente, 2640,56 m<sup>3</sup> e 117,52 m<sup>3</sup> para o povoamento como um todo.

#### 4.2.3. Simula\u00e7\u00e3o para Idade de 7 anos

Para a simula\u00e7\u00e3o com a Idade de 7 anos, foram mantidas as equa\u00e7\u00f5es levantadas, assim como o valor de \u00edndice de S\u00edtio e Desbastes. Foram feitas modifica\u00e7\u00f5es na Aba Invent\u00e1rio, Listagem e Di\u00e2metros de sortimentos. Na aba Invent\u00e1rio, optou-se pela simula\u00e7\u00e3o parcial, ou seja, simulou-se a floresta nas mesmas condi\u00e7\u00f5es iniciais do ano 1 para o povoamento atual, contudo, nenhuma outra

consideração é feita para esta simulação além da quantidade de árvores inicial e a porcentagem de sobrevivência no ano 1 (Figura 52).

The screenshot shows the 'Entrada de Dados' window for the 'Inventário' tab. The 'Número de árvores plantadas por hectare' section is selected, with the following values:

- Densidade (árvores por hectare): 1538
- Porcentagem inicial de sobrevivência: 99

The 'Nível de homogeneidade do plantio (1 a 10):' is set to 5, with the following options:

- Plantio pouco homog. = 1 a 4
- Homogeneidade média = 5 a 7
- Homogeneidade alta = 8 a 10

Figura 52 – Entrada de dados na aba Inventário para os 7 anos. Fonte: Autor (2021),

Essa simulação tende a estimar um valor de volume superior ao calculado, caso fosse feita para o povoamento aos 15 anos. Todavia, tem-se tais condições adequadas para o povoamento aos 7 anos, visto que se quer o simular em condições próximas ao ideal. Foram também alteradas as opções de listagem, tal como frisado na Figura 53 a seguir.



The screenshot shows the 'SisPinus - Inventário\_Maurício\_15\_anos\_e\_Sortimentos.dat' application window. The menu bar includes 'Arquivo', 'Gráfico', 'Manual', 'Análise econômica', and 'Outros'. The main window is titled 'Entrada de Dados' and is divided into two main sections. On the left, there is a vertical toolbar with icons for 'Novo', 'Abrir', 'Salvar', 'Salvar Como', 'Imprimir', and 'Ocultar Itens', along with the 'Embrapa' logo. To the right of the toolbar is a tree view titled 'Itens' with the following structure:

- Simulação
  - Inventário
  - Opções de Listagens
  - Desbastes
- Equações
  - Sítio
  - Volume
  - Sortimento
- Diâmetro de toras e sortimento
- Catálogos com outras opções
  - Produtos
  - Fórmulas

The right section is titled 'Opções de Listagem' and contains two radio button options: 'Por intervalo de idades' (selected) and 'Por lista de idades'. Under 'Por intervalo de idades', there are three input fields: 'Idade inicial:' with the value '1', 'Idade final:' with the value '7', and 'Intervalo:' with the value '1'. Under 'Por lista de idades', there is an empty 'Idades:' input field. Below these options is a label 'Intervalo de Classes de Diâmetro para a Produção:' followed by an input field containing the value '2'. At the bottom of the window, there is a 'Resultado' label.

Figura 53 - Entrada de dados na aba Opções de Listagem para a idade de 7 anos. Fonte: Autor (2021).

Além disso, também foram modificados os valores referentes aos sortimentos, uma vez que, de acordo com as empresas que comercializam o cavaco, pode-se trabalhar com dimensões de toras da ordem de 8 a 25 cm de diâmetro e as inferiores a isso também podem ser processadas em lenha. Por isso, foi gerada a tabela de resultados (Figura 54).



Figura 54 – Resultados do software para a simulação do povoamento aos 7 anos. Fonte: Autor (2021).

A principal diferença entre as simulações referentes aos sortimentos para processamento mecânico e para energia é que, enquanto o processamento mecânico trabalha com volume a partir de um certo diâmetro comercial, resultando em um grande montante que não pode ser aproveitado, as empresas de cavaco conseguem aproveitar o volume da floresta praticamente na íntegra, pois as toras são colocadas no picador e o único resíduo é aquele gerado pelo processamento da árvore.

Sendo assim, avalia-se que o volume de sortimento para cavaco gerado pela floresta a cada 7 anos é igual ao volume total calculado para os sortimentos entre 0 e 25 centímetros, sendo de 202,5 m<sup>3</sup>/ha ou 2106,0 m<sup>3</sup> para o povoamento todo, a cada 7 anos.

#### 4.2.4. Simulação dos perfis de Sortimentos

A fim de se contemplar o potencial produtivo total da floresta, foi realizada simulação com o intuito de se obter perfis de sortimentos, tendo em vista que todo o

volume de madeira seria distribuído entre o processamento mecânico e a produção de cavaco e lenha. Assim, foram estipulados os limites para cada finalidade, tal como apresentado na Tabela 24. Para esta simulação foram classificados como resíduos os volumes para diâmetros inferiores a 5 cm.

Tabela 24 – Sortimentos para o povoamento florestal. Fonte: Autor (2021).

<b>Identificação</b>	<b>Diâmetros (cm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>R\$/ m<sup>3</sup></b>
Resíduos	0 a 5	-	-
Cavaco	5 a 18	3	17,75
Serraria Tipo 1	18 a 25	3	109,05
Serraria Tipo 2	>25	3	140,75

Configurou-se o software com os mesmos parâmetros usados para simular o inventário. Os resultados obtidos estão exibidos na Figura 55.

<b>SisPinus</b>								
<b>TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO (Pinus taeda)</b>								
Descrição: Inventário Florestal - Mauricio								
Índice de Sítio: 21,7								
Densidade: 1307 árvores por hectare aos 15 anos								
Diâmetro quadrático médio : 22,69								
Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
15	21,7	1307	22,7	19,0	52,9	497,5	33,2	439,2
Equação de Sítio: Oliveira, Oliveira e Hafley								
Equação de Volume: Mauricio Cruz								
Equação de sortimento: Mauricio Cruz								
tCO2 = (Vol+34%)x(Dens. Básica: 0,36)x(C: 0,50)x(CO2: 3,66)								
<b>SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (15 ANOS)</b>								
Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	> 25	18-25	5-18	0-5	
10,0-12,0	1	14,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0-14,0	6	15,7	0,7	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0
14,0-16,0	32	16,5	4,7	0,0	0,0	4,5	0,2	0,2
16,0-18,0	90	17,2	17,6	0,0	0,0	16,6	1,1	1,1
18,0-20,0	177	17,8	44,7	0,0	0,0	44,1	0,5	0,5
20,0-22,0	261	18,4	82,7	0,0	28,2	53,0	1,5	1,5
22,0-24,0	295	19,0	114,9	0,0	65,1	46,9	2,8	2,8
24,0-26,0	249	19,6	117,3	0,0	87,8	25,7	3,7	3,7
26,0-28,0	144	20,2	80,8	0,0	59,2	21,2	0,4	0,4
28,0-30,0	46	20,9	30,4	9,4	12,3	8,4	0,3	0,3
30,0-32,0	5	21,7	3,7	1,9	1,2	0,5	0,1	0,1
<b>Totais</b>		<b>19,0</b>	<b>497,5</b>	<b>11,3</b>	<b>253,9</b>	<b>221,7</b>	<b>10,5</b>	

Figura 55 – Resultados do software para os perfis de sortimento. Fonte: Autor (2021).

Os volumes de sortimentos parciais e totais para o povoamento são elencados na Tabela 25. A Figura 56 mostra um gráfico de porcentagens dos sortimentos para a floresta estudada.

Tabela 25 – Volumes de Sortimentos para o povoamento florestal. Fonte: Autor (2021).

Identificação	Diâmetros (cm)	Volume Parcial (m³/ha)	Volume Total (m³)	%
Resíduos	0 a 5	10,5	109,20	2,11
Energia	5 a 18	221,7	2305,68	44,57
Serraria Tipo 1	18 a 25	253,9	2640,56	51,05
Serraria Tipo 2	>25	11,3	117,52	2,27

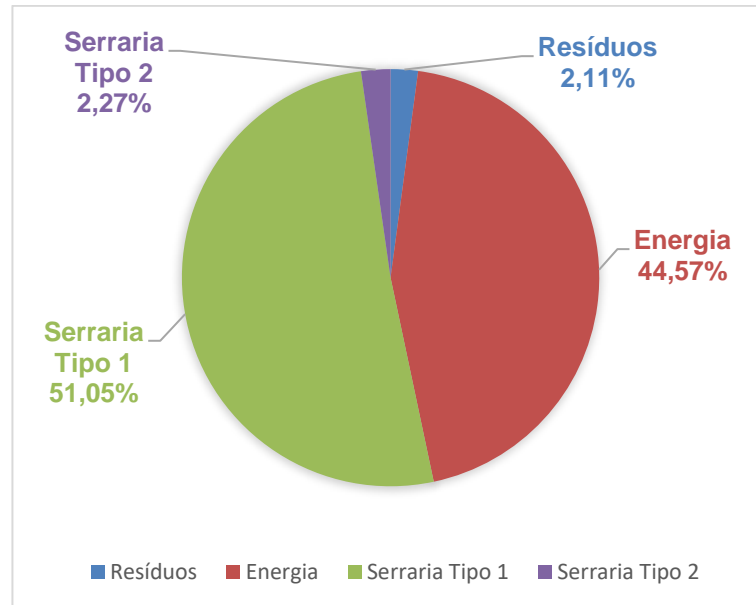


Figura 56 – Distribuição dos sortimentos em porcentagem. Fonte: Autor (2021).

Foram elaborados dois gráficos, um elencando os sortimentos *versus* o volume parcial e outro das classes de diâmetro *versus* volumes parciais. A Figura 57 e Figura 58 salientam estes resultados.

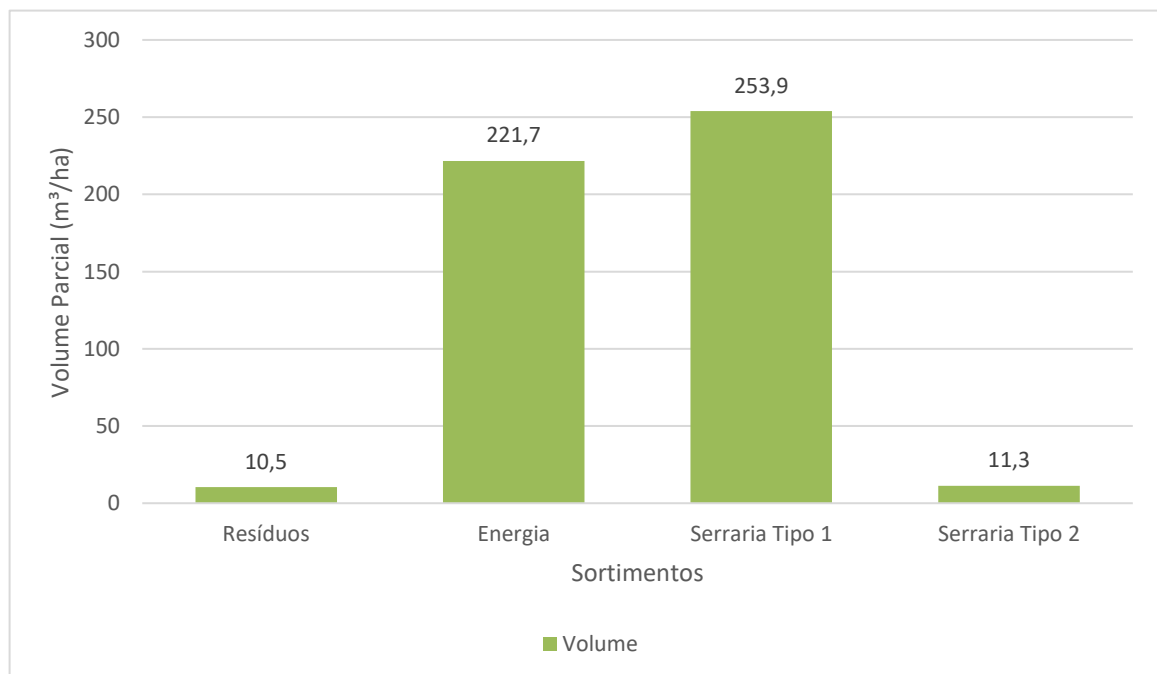


Figura 57 - Distribuição dos sortimentos em volume parcial. Fonte: Autor (2021).

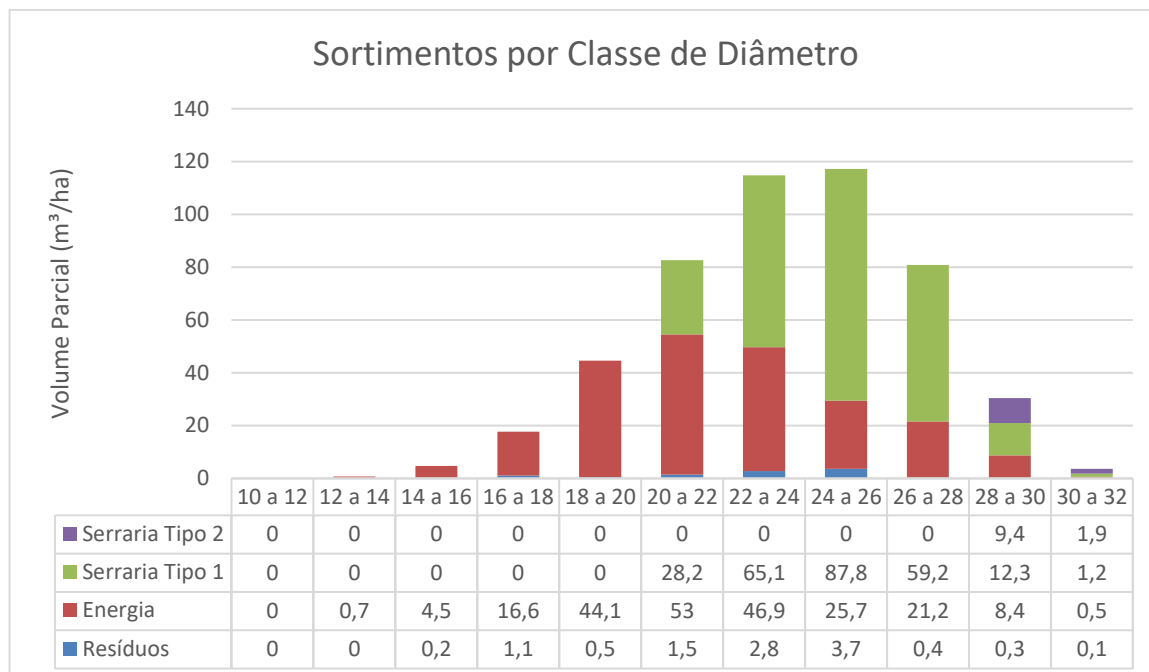


Figura 58 - Distribuição dos sortimentos em classes de diâmetro. Fonte: Autor (2021).

### 4.3. Análise Econômica

Para a realização da análise econômica foram inicialmente levantados os preços referentes aos diferentes serviços envolvidos no manejo de cada proposta. Para o levantamento dos preços das mudas, mão de obra para o plantio e preparo da terra, foram consultados 3 viveiros. O valor da muda de *Pinus taeda* foi dado como R\$ 0,50, ou seja, o valor unitário. Nenhum dos viveiros consultados trabalhava com mudas de *Toona ciliata*. Logo, para avaliação dos valores envolvendo a implantação inicial, foi considerado o mesmo valor de R\$ 0,50 por muda.

O plantio e preparo da terra, segundo os viveiros, faz parte de um mesmo serviço, sendo cobrado R\$ 2,50 por muda. A equipe que realiza o plantio também faz o manejo do local e os serviços de proteção das mudas por um período de 6 meses.

Com relação aos custos referentes ao corte das árvores, o custo da mão de obra referente ao corte e transporte das toras ficou na ordem de R\$ 50,00 por m<sup>3</sup>. Vale ressaltar que esse valor tem viés regional e pode variar dependendo da localização da floresta e o local em que será realizada a venda.

Tratando-se do processamento da madeira em cavaco, uma vez que as empresas que fazem o processamento levam o picador até a propriedade, os custos

referentes aos cortes das árvores e transporte já estão embutidos no valor de compra do cavaco. Assim, este valor não é levado em conta para fins de cálculo.

#### 4.3.1. Proposta 1

Para a análise econômica da proposta 1, inicialmente foi considerado o custo de implantação no ano 0. Foram plantadas 8000 mudas de *Pinus taeda* e 8000 mudas de *Toona ciliata*. Com isso, o custo inicial de implantação da proposta 1 é dado, segundo a Tabela 26.

Tabela 26 – Custo de Implantação para a proposta 1. Fonte: Autor (2021).

Custo de Implantação					
Custos	Valor Unitário		Unidades		Total
Mudas	R\$	0,50	16000	R\$	8.000,00
Mão de Obra	R\$	2,50	16000	R\$	40.000,00
<b>Total</b>				<b>R\$</b>	<b>48.000,00</b>

No ano 2, foram novamente plantadas 8000 mudas de *Pinus taeda*, resultando em um custo de R\$ 24.000,00. Não foram realizados desbastes na floresta até o 15º não ocorrendo custos nem receitas nesse período. No ano 15, é realizada a retirada das árvores. O volume total a ser retirado conforme as simulações realizadas, será de 2758,08 m<sup>3</sup>. O custo da mão de obra para a retirada é de R\$ 50,00 por m<sup>3</sup>. Portanto, o custo do serviço será da ordem de R\$ 137.904,00. A venda das toras no Ano 15 irá gerar uma receita conforme evidenciado na Tabela 27.

Tabela 27 – Receita prevista para a Proposta 1. Fonte: Autor (2021).

Receitas					
Identificação	Volume (m <sup>3</sup> )	Preço Unitário			Receita
Serraria Tipo 1	2640,56	R\$	109,05	R\$	287.953,07
Serraria Tipo 2	117,52	R\$	140,75	R\$	16.540,94
<b>Total</b>	<b>2758,08</b>		-	<b>R\$</b>	<b>304.494,01</b>

O Fluxo de Caixa para a Proposta 1 será dado de acordo com o que é apresentado na Figura 59.



Figura 59 – Fluxo de caixa para a Proposta 1. Fonte: Autor (2021).

#### 4.3.2. Proposta 2

Para a proposta 2, o custo de implantação no ano 0 será referente ao plantio das 16000 mudas de *Pinus taeda*, tal como mostrado na Tabela 28.

Tabela 28 – Custo de implantação para a Proposta 2. Fonte: Autor (2021).

Custo de Implantação					
Custos	Valor Unitário		Unidades		Total
Mudas	R\$	0,50	16000	R\$	8.000,00
Mão de Obra	R\$	2,50	16000	R\$	40.000,00
<b>Total</b>				<b>R\$</b>	<b>48.000,00</b>

Não ocorrerão intervenções na floresta até o ano 7. Nesse ano, o volume de madeira da ordem de 2106,0 m<sup>3</sup> será vendido, gerando uma receita de R\$ 37.381,50. Como os custos de processamento e transporte do cavaco já estão descontados do valor de compra, não há custos envolvidos com as operações de retirada da madeira no ano 7. Tabela 29 destaca um resumo das receitas.



Tabela 29 – Receita prevista para a Proposta 2. Fonte: Autor (2021).

Receitas					
Identificação	Volume (m <sup>3</sup> )	Preço Unitário		Receita	
Lenha e Cavaco	2106,0	R\$	17,75	R\$	37.381,50

Após o processamento, no início do ano 8 a floresta está nas mesmas condições do ano 0. Sendo assim, repetem-se os custos de implantação neste ano e as receitas esperadas no ano 15. O Fluxo de Caixa da proposta 2 é representado pela Figura 60.

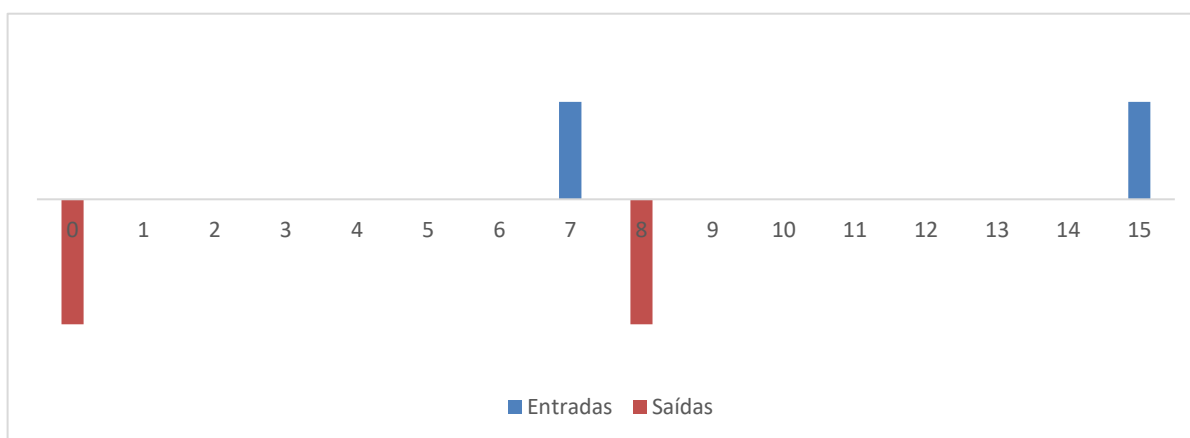


Figura 60 – Fluxo de caixa para a Proposta 2. Fonte: Autor (2021).

#### 4.3.3. Proposta 3

Para a análise econômica da proposta 3, são feitas as mesmas ponderações de custos de implantação feitas para a proposta 1. Sendo assim, o custo de implantação no ano 0 é referente ao plantio de 8000 mudas de *Pinus taeda* e 8000 mudas de *Toona ciliata*, sendo da ordem de R\$ 48.000,00.

No ano 2, de forma similar, foram novamente plantadas 8000 mudas de *Pinus taeda*, resultando em um custo de R\$ 24.000,00. Não foram realizados desbastes na floresta até o 15º não havendo custos nem receitas nesse período.

No ano 15, é realizada a retirada das árvores. Para a proposta 3, é levado em conta que há um custo referente à retirada do volume de madeira destinado ao processamento mecânico, porém se considera que o volume referente à produção de

cavaco não gera custos, assim como mostrado na proposta 2.

O volume total a ser retirado, conforme as simulações realizadas, será de 5063,76 m<sup>3</sup>. Destes, 2758,08 m<sup>3</sup> são para processamento mecânico gerando um custo de mão de obra de R\$ 137.904,00. Sendo 2305,68 m<sup>3</sup> referentes à retirada para cavaco cujos custos de retirada já estão embutidos no valor de compra. A venda dos sortimentos no Ano 15 irá gerar uma receita, como é destacado na Tabela 30.

Tabela 30 – Receitas previstas para a Proposta 3. Fonte: Autor (2021).

Receitas					
Identificação	Volume (m <sup>3</sup> )	Preço Unitário		Receita	
<b>Energia</b>	2305,68	R\$	17,75	R\$	40.925,82
<b>Serraria Tipo 1</b>	2640,56	R\$	109,05	R\$	287.953,07
<b>Serraria Tipo 2</b>	117,52	R\$	140,75	R\$	16.540,94
<b>Total</b>	<b>5063,76</b>	-		<b>R\$</b>	<b>345.419,83</b>

Com isso, o Fluxo de Caixa para a Proposta 3 será dado segundo o que é salientado na Figura 61.



Figura 61 – Fluxo de caixa para a proposta 3. Fonte: Autor (2021).

#### 4.3.4. TMA

Para o cálculo da TMA, foi tomado a taxa Selic e a variação da Inflação, no período de 1º de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2020. De acordo com os dados

do Banco Central do Brasil (2021), a Taxa Selic para esse período foi de 1,90% ao ano. A inflação, com base nos dados do IBGE (2021), foi de 4,52% ao ano. Assim, a TMA pode ser calculada como:

$$TMA = [(1 + 0,0190) \times (1 + 0,0452)] - 1$$

$$TMA = 0,0651 = 6,51\% \text{ a. a.}$$

#### 4.3.5. VPL

A partir dos Fluxos de Caixa, das relações de custos e receitas de cada proposta e da TMA são realizados os cálculos do VPL de cada proposta. A Proposta 1 apresentou um VPL de R\$ -4.436,49, enquanto a Proposta 2 destacou um VPL de R\$ -38.421,47. Ambas propostas são tidas como inviáveis economicamente. Apesar disto, nega-se a hipótese, uma vez que o manejo realizado pelos proprietários possui um VPL maior do que o do manejo previsto para a proposta 2 que prevê a substituição da floresta por uma floresta energética.

Além disso, percebe-se, a partir do VPL calculado para a proposta 2, o retorno financeiro da proposta não paga nem mesmo os custos de implantação previstos para o povoamento a ser manejado. Tal fator pode estar ligado ao alto custo de implantação do povoamento, ao tamanho da propriedade não ser adequado, ao adensamento das árvores (2,0 x 3,0 m) ser muito elevado, a idade escolhida para o corte não ser adequada, ou até pelo preço na qual o cavaco é comercializado.

Para a proposta 3, o VPL do projeto foi de R\$ 11.463,38. Apesar desta proposta não ser calculada em vistas de se confrontar a hipótese, nota-se que a venda dos sortimentos florestais para mais de uma finalidade aumenta o potencial financeiro do povoamento e gera mais oportunidades de lucro, uma vez que há um grande volume de sortimentos que não são contemplados na venda do volume da proposta 1.

O VPL das Propostas 1, 2 e 3 e são destacados anualmente sequenciados na Tabela 31, Tabela 32 e Tabela 33 a seguir.

Tabela 31 – VPL da Proposta 1. Fonte: Autor (2021).

Período	Custos		Receita		Saldo		Saldo VP		Saldo VP Acumulado	
0	R\$	48.000,00	R\$	-	-R\$	48.000,00	-R\$	48.000,00	-R\$	48.000,00
1	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	48.000,00
2	R\$	24.000,00	R\$	-	-R\$	24.000,00	-R\$	21.157,49	-R\$	69.157,49
3	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
4	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
5	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
6	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
7	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
8	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
9	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
10	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
11	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
12	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
13	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
14	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
15	R\$	137.904,00	R\$	304.494,01	R\$	166.590,01	R\$	64.720,99	-R\$	4.436,49

Tabela 32 – VPL da Proposta 2. Fonte: Autor (2021).

Período	Custos		Receita		Saldo		Saldo VP		Saldo VP Acumulado	
0	R\$	48.000,00	R\$	-	-R\$	48.000,00	-R\$	48.000,00	-R\$	48.000,00
1	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	48.000,00
2	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	48.000,00
3	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	48.000,00
4	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	48.000,00
5	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	48.000,00
6	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	48.000,00
7	R\$	-	R\$	37.381,50	R\$	37.381,50	R\$	24.045,93	-R\$	23.954,07
8	R\$	48.000,00	R\$	-	-R\$	48.000,00	-R\$	28.990,29	-R\$	52.944,36
9	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	52.944,36
10	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	52.944,36
11	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	52.944,36
12	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	52.944,36
13	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	52.944,36
14	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	52.944,36
15	R\$	-	R\$	37.381,50	R\$	37.381,50	R\$	14.522,89	-R\$	38.421,47

Tabela 33 – VPL da Proposta 3. Fonte: Autor (2021).

Período	Custos		Receita		Saldo		Saldo VP		Saldo VP Acumulado	
0	R\$	48.000,00	R\$	-	-R\$	48.000,00	-R\$	48.000,00	-R\$	48.000,00
1	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	48.000,00
2	R\$	24.000,00	R\$	-	-R\$	24.000,00	-R\$	21.157,49	-R\$	69.157,49
3	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
4	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
5	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
6	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
7	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
8	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
9	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
10	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
11	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
12	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
13	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
14	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	-R\$	69.157,49
15	R\$	137.904,00	R\$	345.419,83	R\$	207.515,83	R\$	80.620,86	R\$	11.463,38

Caso o povoamento tivesse sido manejado de modo a haver apenas o plantio de *Pinus taeda* no ano 0, não ocorrendo as saídas de caixa previstas no ano 2 para as propostas 1 e 3, e considerando que ao final do 15º ano, o povoamento apresentaria as mesmas condições que a do povoamento atual, o VPL das propostas seria da ordem de, respectivamente, R\$ 16.720,99 e R\$ 32.620,86.

Além disso, sabendo que para a determinação do valor de venda dos sortimentos foi utilizada a média dos valores fornecidos pelas diferentes empresas, a Tabela 34, mostra os valores mínimos e máximos consultados para cada sortimento assim como a receita mínima e máxima para cada proposta.

Tabela 34 – Receitas mínimas e máximas para cada Proposta. Fonte: Autor (2021).

		Sortimento	Energia	Serraria Tipo 1	Serraria Tipo 2	Total
		\$ Unit Min	R\$ 10,00	R\$ 45,00	R\$ 85,50	
		\$ Unit Max	R\$ 23,00	R\$ 140,00	R\$ 190,00	
Proposta	1	Receita Min	-	R\$ 118.825,20	R\$ 10.047,96	R\$ 128.873,16
		Receita Max	-	R\$ 369.678,40	R\$ 22.328,80	R\$ 392.007,20
	2	Receita Min	R\$ 23.056,80	-	-	R\$ 23.056,80
		Receita Max	R\$ 53.030,64	-	-	R\$ 53.030,64
	3	Receita Min	R\$ 23.056,80	R\$ 118.825,20	R\$ 10.047,96	R\$ 151.929,96
		Receita Max	R\$ 53.030,64	R\$ 369.678,40	R\$ 22.328,80	R\$ 445.037,84

Desta forma, foram calculados os VPL mínimo e máximo possíveis para cada proposta (Tabela 35).

Tabela 35 – VPL Mínimo e Máximo para cada Proposta. Fonte: Autor (2021).

	Proposta 1		Proposta 2		Proposta 3	
VPL Min	-R\$	72.666,01	-R\$	53.201,15	-R\$	63.708,34
VPL Max	R\$	29.562,79	-R\$	22.275,28	R\$	50.165,44

Para os valores salientados anteriormente, vale ressaltar que se tratam de potenciais de venda, pois não se está contemplando na análise do VPL a localidade para a qual será feita a venda das toras, podendo variar para mais ou para menos dependendo da região, e os fatores intrínsecos de cada localidade.

#### 4.3.6. TIR

Antes de se calcular a TIR dos projetos é necessário levar em conta que o projeto previsto na proposta 2 não paga nem seus custos de implantação, pois não há uma taxa capaz de tornar o VPL do projeto igual a 0. Além disso, sabendo que o projeto da proposta 3 é um reflexo direto da proposta 1, nunca existirá um ponto de intersecção entre os projetos visto que os dois se comportam de forma similar em um gráfico de VPL *versus* taxa de juros.

Contudo, foi possível calcular a TIR dos projetos 1 e 3, sendo respectivamente 6,02% a.a. e 7,65% a.a. A proposta 1 apresentou uma TIR menor que a TMA, sendo inviável economicamente. A proposta 3 teve uma TIR maior que a TMA de 6,51% a.a. Logo é tida como viável economicamente.

Tabela 36 destaca a relação entre o VPL dos dois projetos dada a flutuação da taxa de Juros. A partir desta, foi possível estabelecer um gráfico de VPL x i para as duas curvas (Figura 62).

Tabela 36 – Relação do VPL segundo a taxa de juros. Fonte: Autor (2021).

<b>Taxa de Juros (% a.a.)</b>	<b>VPL - Proposta 1</b>	<b>VPL - Proposta 3</b>
0%	R\$ 94.590,01	R\$ 135.515,83
1%	R\$ 71.965,11	R\$ 107.216,54
2%	R\$ 52.710,78	R\$ 83.119,27
3%	R\$ 36.305,49	R\$ 62.574,21
4%	R\$ 22.312,17	R\$ 45.036,82
5%	R\$ 10.363,93	R\$ 30.049,95
6%	R\$ 152,28	R\$ 17.229,19



7%	-R\$ 8.582,64	R\$ 6.250,76
8%	-R\$ 16.060,01	-R\$ 3.158,49
9%	-R\$ 22.465,03	-R\$ 11.229,33
10%	-R\$ 27.954,39	-R\$ 18.157,07
11%	-R\$ 32.660,90	-R\$ 24.107,23
12%	-R\$ 36.697,28	-R\$ 29.220,29
13%	-R\$ 40.159,32	-R\$ 33.615,66
14%	-R\$ 43.128,55	-R\$ 37.394,98
15%	-R\$ 45.674,45	-R\$ 40.644,90
[...]	[...]	[...]

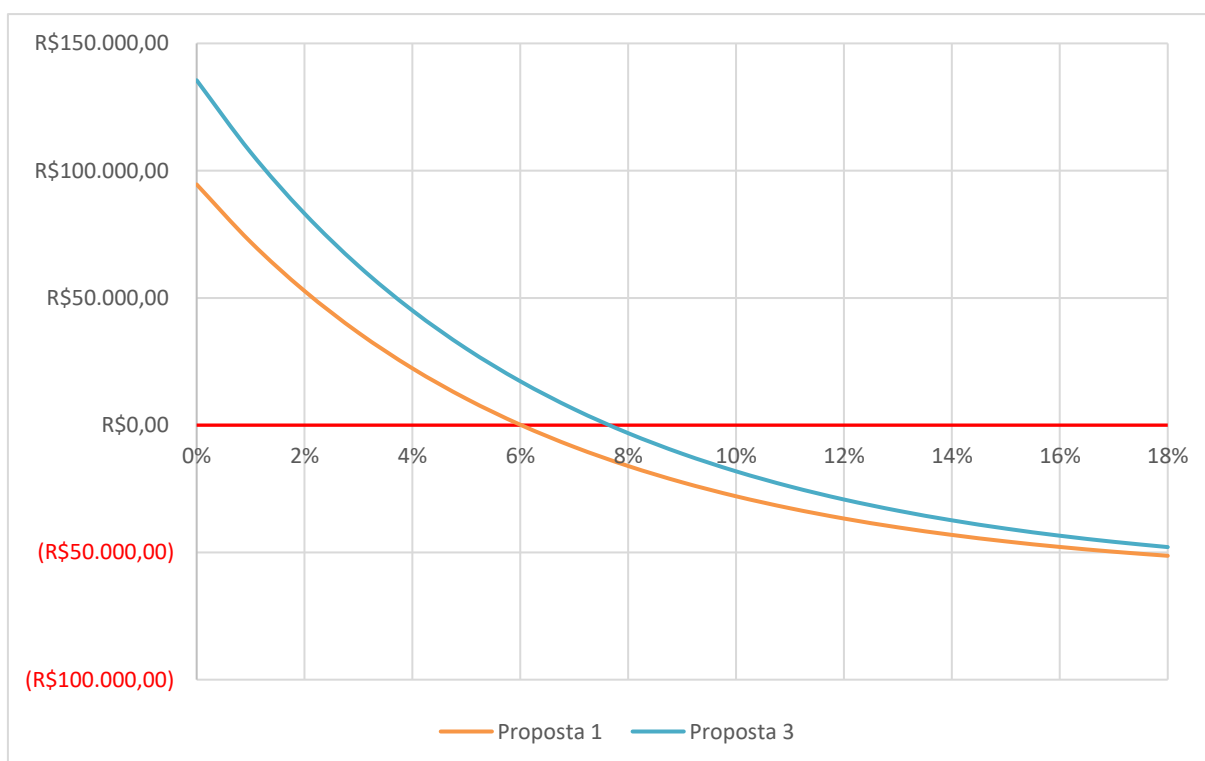


Figura 62 – VPL *versus* taxa de juros para as propostas 1 e 3. Fonte: Autor (2021).

Caso, para o projeto da proposta 2, fosse ponderado que o cavaco seria vendido pelo maior preço de mercado dentre os valores levantados, isso tornaria seu retorno financeiro capaz de pagar pelos custos de implantação e, com uma TIR da ordem de 1,43% a.a., seu VPL seria zero. Ainda assim, não existiria um ponto em que ocorresse intersecção *positiva* entre as curvas dos projetos estudados (Figura 63).

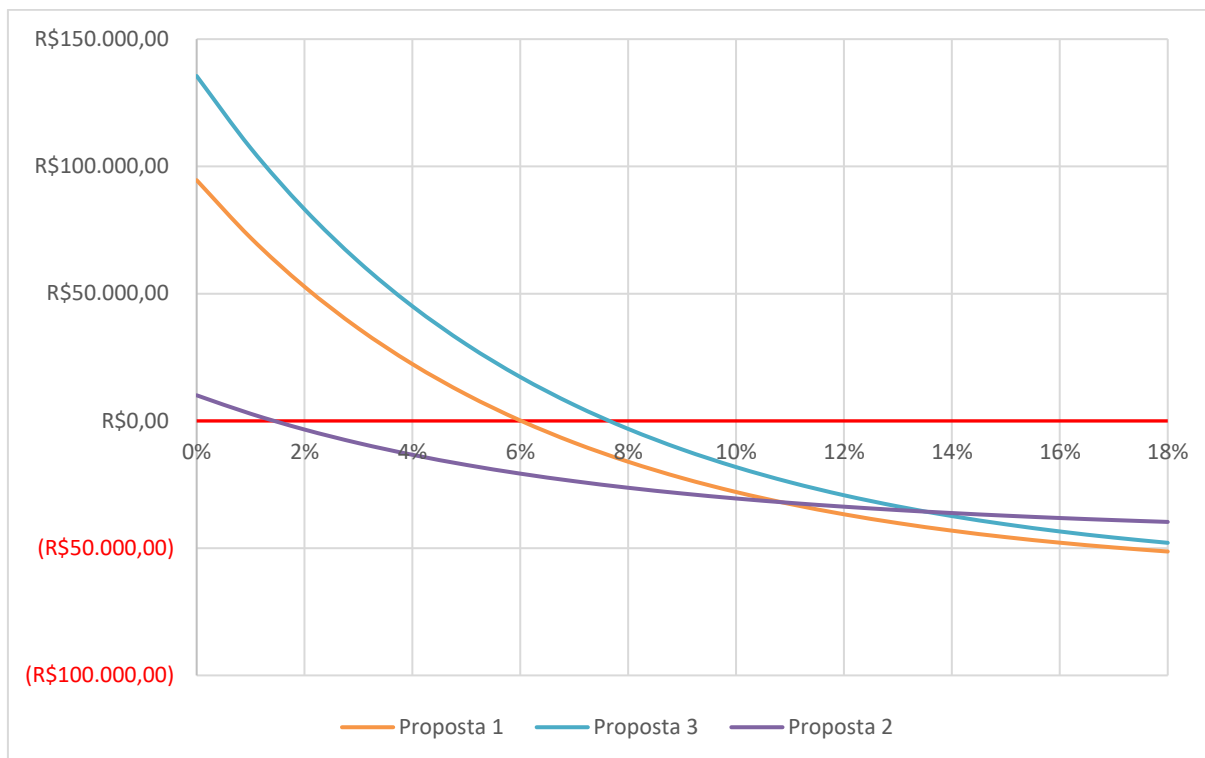


Figura 63 – VPL versus taxa de juros para a proposta 2 ajustada. Fonte: Autor (2021).

Apesar disso, nota-se pelo comportamento da Curva da proposta 2 que ela é menos afetada pela variação na taxa de juros que as Propostas 1 e 3. Dadas condições diferentes para sua implantação, ela poderia vir a se tornar uma proposta viável quanto aos cenários e características de projetos.

Tendo em vista o exposto anteriormente, calculou-se a TIR dos 3 projetos avaliando uma situação “ideal” das propostas. Para as propostas 1 e 3 levou-se em conta que a implantação do povoamento é feita no ano 0, composto apenas de mudas de *Pinus taeda*, sem haver custos no fluxo de caixa no ano 2. Para a proposta 2, é considerado que a venda do produto final é feita pelo maior valor consultado. Por isso, a TIR da proposta 1 será de 8,65% a.a., da proposta 2 de 1,43% a.a. e da proposta 3 da ordem de 10,25% a.a. A Figura 64 ressalta um gráfico de VPL versus Taxa de Juros contemplando as 3 propostas.

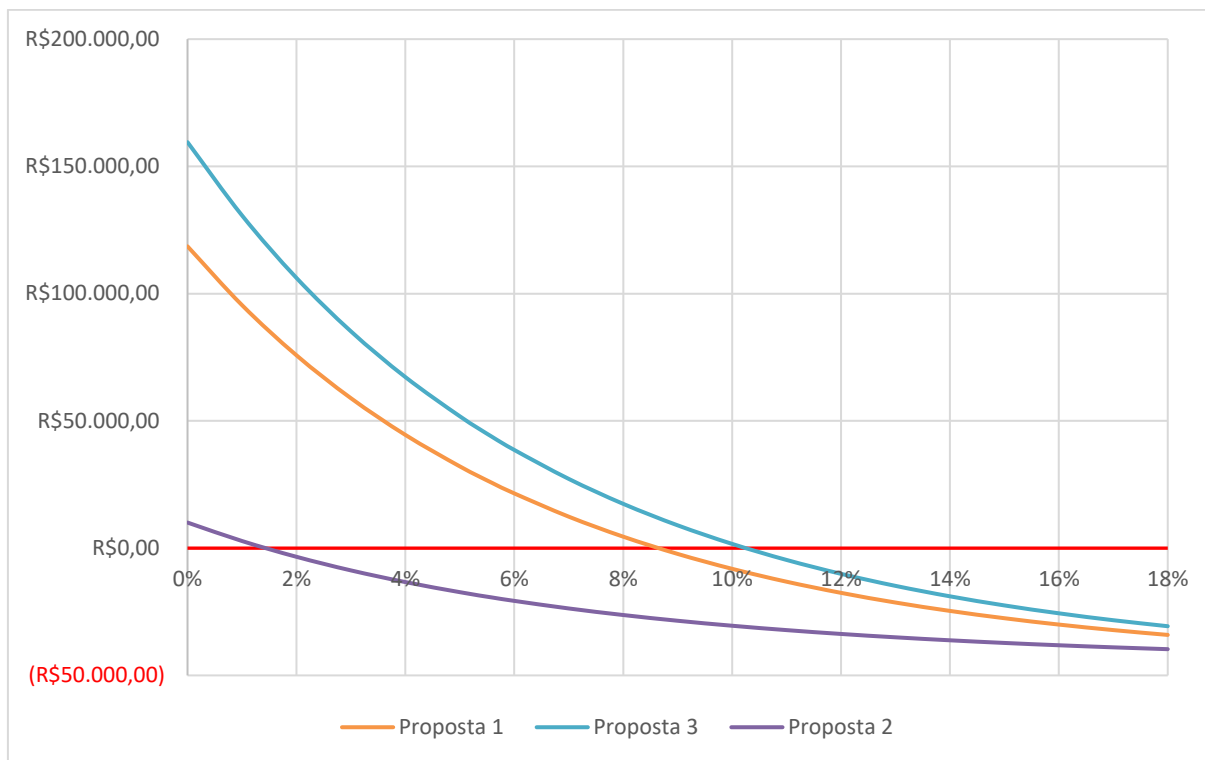


Figura 64 – VPL *versus* taxa de juros para propostas ajustadas. Fonte: Autor (2021).

#### 4.3.7. B/C

A Relação Benefício Custo (B/C) de cada proposta é dada por:

$$B/C_1 = \frac{64.720,99}{48.000 + 21.157,49} = 0,94$$

$$B/C_2 = \frac{24.045,93 + 14.522,89}{48.000 + 28.990,29} = 0,50$$

$$B/C_3 = \frac{80.620,86}{48.000 + 21.157,49} = 1,17$$

Destaca-se que as propostas 1 e 2 são inviáveis economicamente, ao passo que a proposta 3 é viável economicamente. Apesar de ser inviável, a proposta 1 evidencia um valor muito próximo ao unitário, apresentando muitos riscos em sua implementação. Flutuações nos preços, taxas de juros mais elevadas ou flutuação na oferta e demanda anuais poderiam tornar o projeto viável.

A proposta 3, por outro lado, é um pouco mais consistente. Ela parece mostrar

uma boa resposta ao mercado, visto que atende mais de um ramo da indústria. Além disso, variações no preço e juros não afetam a previsão de lucro tão severamente quanto nas demais propostas estudadas. Segundo o calculado, diz-se que para cada 1 real investido no projeto da proposta 3, há um retorno de 1 real e 17 centavos.

Foi calculada ainda a Relação Benefício Custo (B/C) das propostas 1 e 3, caso o povoamento tivesse sido manejado de modo a haver apenas o plantio de *Pinus taeda* no ano 0, não ocorrendo as saídas de caixa previstas no ano 2 dado por:

$$B/C_{1-ideal} = \frac{64.720,99}{48.000} = 1,35$$

$$B/C_{3-ideal} = \frac{80.620,86}{48.000} = 1,68$$

Neste cenário, tido como “ideal”, ambas propostas tiveram um B/C consideravelmente superior. A proposta 3 apresenta-se ainda mais robusta, sendo um bom projeto a ser avaliado por aqueles que pretendem iniciar no ramo. Neste cenário, diz-se que para cada 1 real investido no projeto da proposta 3, há um retorno de 1 real e 68 centavos.

## 5. CONCLUSÕES

No estudo desenvolvido, é possível concluir, primeiro, que a proposta de manejo prevista pelos proprietários ainda se mostra mais lucrativa frente à proposta de manejo em vista da substituição do povoamento por uma floresta energética. Além disso, a proposta atual pode ser otimizada, conforme evidenciado na proposta 3, incluindo na venda final dos produtos madeireiros uma parcela dos sortimentos destinando-os à produção de cavaco e lenha.

O povoamento florestal possui um volume de madeira plantada da ordem de 506,97 m<sup>3</sup>/ha ou 5272,46 m<sup>3</sup> tendo em vista seus 10,4 ha de área. A altura dominante do povoamento foi de 21,7 metros e o diâmetro quadrático médio das árvores medidas foi de 22,69 cm. A taxa de sobrevivência das árvores aos 15 anos é de 68,62% com uma densidade de 1307 árvores/ha aos 15 anos.

Conclui-se, ainda, a partir das simulações realizadas com o software SisPinus, que o software conseguiu simular com precisão o povoamento estudado, salientando um erro de estimativa de apenas 1,78% entre os valores simulados e calculados.

Dos sortimentos da floresta, foi possível concluir que, aos 15 anos, 51,05% de todo o povoamento seria destinado para Serraria do tipo 1 (18 a 25 cm de diâmetro), totalizando um volume de 253,9 m<sup>3</sup>/ha. 44,51% seria destinado à Energia para a produção de cavaco, e lenha, totalizando 221,7 m<sup>3</sup>/ha. 2,27% do povoamento seria destinado à Serraria tipo 2 (diâmetro >25 cm) com uma área de 11,3 m<sup>3</sup>/ha, sendo assim, resultando em 2,11% em resíduos, um total de 10,4 m<sup>3</sup>/ha.

Com base nas análises econômicas realizadas, conclui-se que a proposta 3 é viável economicamente, tendo um VPL de R\$ 11.463,38. As propostas 1 e 2 foram tidas como inviáveis economicamente, sendo seu VPL de, respectivamente, R\$ -4.436,49 e R\$ -38.421,47. Nota-se ainda que o retorno financeiro previsto para a proposta 2 não é capaz de superar seus custos de implantação.

Ademais, um fator determinante nos VPL das três propostas é o alto valor de implantação do povoamento. Nas propostas 1 e 3, o investimento voltado para as mudas de *Toona ciliata* que não resistiram as condições climáticas da região, gerou um considerável reflexo nos fluxos de caixa, uma vez que o VPL, TIR e Relação B/C das propostas se apresentou mais favorável em cenários nos quais não foram feitos

tais investimentos.

Para a proposta 2, contudo, o valor da venda do cavaco se mostrou muito aquém daquele esperado, sendo incapaz de viabilizar sua implantação em um ciclo de 7 anos. O VPL da proposta 2 tem uma variabilidade menor frente às variações das taxas de juros, comparado as outras propostas estudadas, demonstrando que os fatores que impactam a sua inviabilidade econômica estão mais fortemente ligados às condições do povoamento e do produto, podendo ser elas os custos de aquisição de mudas, adensamento, idade ou preço da venda do produto final.

Conclui-se ainda que a Proposta 3 tem uma considerável confiabilidade e robustez, apresentando um B/C de 1,17 na proposta estudada, podendo chegar a 1,68 em uma situação ideal. Tal fator demonstra que o projeto da Proposta 3 pode ser uma opção viável a ser avaliada por aqueles que desejam ingressar no ramo.

### **5.1. Considerações Finais**

Elencam-se a seguir algumas ponderações sobre a pesquisa realizada, para que sirvam de parâmetros de tomada de decisão ou análise dos leitores.

- Notou-se um declínio do comércio envolvendo o *Pinus taeda*, tanto em caráter regional quanto estadual. Muitas empresas que forneceram dados para esta pesquisa pontuaram que, apesar de possuírem uma tabela de preços, não estavam trabalhando com a espécie.
- Grande parte dos dados levantados referentes à mão de obra e serviços tem caráter regional. Vale ressaltar que os valores estipulados para essas características podem variar de região para região, alterando significativamente as relações de contratação e venda dos serviços e produtos.
- Algumas empresas optam pela compra da árvore em pé, em vez das toras. Para estes casos, as empresas possuem outras tabelas de preços e uma logística interna própria.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLOTTE et al. Capítulo 3: Biomassa e sua participação na matriz energética brasileira. *In*: KUNZ et al. **Energia Limpa e Acessível**. 1 ed. Brasília: Embrapa, 2018. Cap 3, pg 23-34 (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, 7). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188701/1/ODS-7-energia-limpa-e-acessivel.pdf>. Acesso em: 03 de Julho de 2020.

BETTINGER et al. Chapter 1: Management of Forests and Other Natural Resources. *In*: BETTINGER et al. **Forest Management and Planning**. 2 ed. Londres: Academic Press, 2017. Cap. 1, pg 1-21.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic)**. Banco Central do Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidade/financeira/selic/dados/diarios>. Acesso em: 12 de janeiro de 2021.

BRAVO-OVIEDO, A. Chapter 1: The Role of Mixed Forests in a Changing Social-Ecological World. *In*: BRAVO-OVIEDO, A.; PRETZSCH, H.; DEL RÍO, M. **Dynamics, Silviculture and Management of Mixed Forests**. 1 ed. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2018. Cap.1, pg 1-27. (Managing Forest Ecosystems, 31).

CERDEIRA, A. L. N. **Modelos para quantificação do volume de diferentes sortimentos em plantio de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis***. 66p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/4492/1/2012\\_AnaLuizaNoceCerdeira.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/4492/1/2012_AnaLuizaNoceCerdeira.pdf). Acesso em: 23 de Janeiro de 2021.

CUNHA, U. S. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Manaus, 2004. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/284/o/dendroinv.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2020.

DAHLQUIST, E. Chapter 1: An overview of thermal biomass conversion technologies. *In*: DAHLQUIST, E. **Technologies for Converting Biomass to Useful Energy**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. Cap 1, pg 1-3. (Sustainable Energy Developments, 4).

DINARDI, A. J. **Viabilidade técnica e econômica de povoamentos de *Eucalyptus spp.* sob diferentes espaçamentos visando a produção de biomassa para energia**. 91p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106669/000759670.pdf>. Acesso em: 29 de junho de 2020.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019 – Ano referência: 2018**. Empresa de Pesquisa Energética. 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. Acesso em: 22 de

maio de 2020.

FAO. **Global Forest Resources Assessment 2020: Key Findings**. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca8753en/CA8753EN.pdf>. Acesso em: 11 de julho de 2020.

\_\_\_\_\_. **Wood Energy**. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/energy/en/>. Acesso em: 20 de julho de 2020.

FARR, J. V.; FABER, I. Chapter 2: The science of engineering economics: understanding the time value of money. *In*: FARR, J. V.; FABER, I. **Engineering Economics of Life Cycle Cost Analysis**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. Cap 2, pg 25-68.

\_\_\_\_\_. Chapter 3: Advanced economic analysis of alternatives. *In*: FARR, J. V.; FABER, I. **Engineering Economics of Life Cycle Cost Analysis**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. Cap 3, pg 69-92.

\_\_\_\_\_. Chapter 4: The basic theory of interest. *In*: FARR, J. V.; FABER, I. **Engineering Economics of Life Cycle Cost Analysis**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. Cap 4, pg 93-112.

GAROSI, V. A.; GORENSTEIN, M. R.; GOMES, J. E. Inventário Florestal e Recomendações de Manejo para a Floresta Estadual de Assis – Instituto Florestal, SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. São Paulo, 2008. v. 12. 27 p. Disponível em: [http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/cbwWeWJ9guzrZSv\\_2\\_013-4-29-10-1-31.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/cbwWeWJ9guzrZSv_2_013-4-29-10-1-31.pdf). Acesso em: 20 de maio de 2020.

GRODSKY, S. M.; MOORMAN, C. E.; RUSSEL, K. R. Chapter 3: Forest Wildlife Management. *In*: LAROCQUE, G. R. **Ecological Forest Management Handbook**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. Cap. 3, pg. 47-87.

IBÁ. **A indústria de árvores plantadas e as mudanças climáticas**. Indústria Brasileira de Árvores. 2018. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/info-mudancas-climatica-2018.pdf>. Acesso em: 11 de julho de 2020.

\_\_\_\_\_. **Relatório Anual 2019**. Indústria Brasileira de Árvores. 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 11 de julho de 2020.

IBGE. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA: Séries Históricas**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2021.



IFPR. Instituto de Florestas do Paraná. **Manual de Inventário Florestal**. Curitiba, 2016. V1.0.0. 15 p. Disponível em: [http://www.florestasparana.pr.gov.br/arquivos/File/EDITAL/CONCESSAO/2016/IFPR\\_CONCESSAO.013.2016/11\\_MANUAL\\_INVENTARIO.pdf](http://www.florestasparana.pr.gov.br/arquivos/File/EDITAL/CONCESSAO/2016/IFPR_CONCESSAO.013.2016/11_MANUAL_INVENTARIO.pdf). Acesso em: 15 de maio de 2020.

KALTSCHMITT, M. Volume 1: Renewable Energy from Biomass: Introduction. *In*: KALTSCHMITT, M. **Energy from Organic Materials (Biomass)**. 2 ed. Nova York: Springer Science+Business Media, 2019. Vol. 1, pg 1-14. (Encyclopedia of Sustainability Science and Technology)

KERSHAW JR. et al. Chapter 1: Introduction. *In*: KERSHAW JR. et al. **Forest Mensuration**. 5 ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. Cap. 1, pg 1-12.

\_\_\_\_\_. Chapter 6: Determination of Tree Volume, Weight and Biomass. *In*: KERSHAW JR. et al. **Forest Mensuration**. 5 ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. Cap. 8, pg 210-272.

\_\_\_\_\_. Chapter 8: Stand Parameters. *In*: KERSHAW JR. et al. **Forest Mensuration**. 5 ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. Cap. 8, pg 210-272.

KONSTANTIN, P.; KONSTANTIN, M. Chapter 2: Financial Mathematics. *In*: KONSTANTIN, P.; KONSTANTIN, M. **Power and Energy Systems Engineering Economics: Best Practice Manual**. 1 ed. Cham: Springer International Publishing AG, 2018. Cap 2, pg 5-25.

LAMBERT, L. **Crescimento de diferentes espécies de Pinus spp. na região serrana de Santa Catarina**. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/cav/id\\_cpmenu/1485/Luciano\\_Lambert\\_Disserta\\_o\\_15682084190871\\_1485.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1485/Luciano_Lambert_Disserta_o_15682084190871_1485.pdf). Acesso em: 29 de junho de 2020.

LIMA, G. C. P. **Comparação de diferentes métodos de cubagem de madeira de povoamento de Pinus taeda L. na região serrana de Santa Catarina**. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2015. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/cav/id\\_cpmenu/1482/Disserta\\_o\\_Gean\\_Carlos\\_Paia\\_Lima\\_15683965874865\\_1482.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1482/Disserta_o_Gean_Carlos_Paia_Lima_15683965874865_1482.pdf). Acesso em: 22 de Dezembro de 2020.

MASSETO, G; **Após ano estável, setor florestal espera aumento de consumo em 2020**. AGEFLOR. 2020. Disponível em: <http://www.ageflor.com.br/noticias/mercado/apos-ano-estavel-setor-florestal-espera-aumento-de-consumo-em-2020>. Acesso em: 20 de julho de 2020.

MISSIO et al. Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 45, n. 8, p. 1432-1438. ago. 2015. Disponível em: [https://www.scielo.br/pdf/cr/v45n8/1678-4596-cr-0103\\_8478cr20130475.pdf](https://www.scielo.br/pdf/cr/v45n8/1678-4596-cr-0103_8478cr20130475.pdf). Acesso em: 12 de julho de 2020.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Estimativa do rendimento

em madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. **Floresta e Ambiente**. v. 20, n. 4, p. 556-563. out/dez. 2013. Disponível em: [https://www.scielo.br/pdf/floram/v20n4/aop\\_005412.pdf](https://www.scielo.br/pdf/floram/v20n4/aop_005412.pdf). Acesso em: 29 de junho de 2020.

NICOLETTI, et al. Relação Hipsométrica para *Pinus taeda* L. em Diferentes Fases do Ciclo de Corte. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p 80-89. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/floram/v23n1/2179-8087-floram-2179-8087051513.pdf>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2021.

OLIVEIRA, E. B. Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais: Plantios puros e ILPF. Colombo: Embrapa Florestas, 2021. 70p. <https://www.cnpf.embrapa.br/software/> Acesso em: 02 de fevereiro de 2021

OLIVEIRA et al. Classificação de Sítio para povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. no Sul do Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 37. p 5-18. 1998. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/4953/1/eoliveira.PDF>. Acesso em: 22 de junho de 2020.

OLIVEIRA Y. M. M.; OLIVEIRA E. B.; HAFLEY W. L. CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6º, 1990, Campos do Jordão, São Paulo. **Classificação de sítio para povoamento de *Pinus taeda* no sul do Brasil**. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/300250/1/ClassificacaoSítio0001.pdf>. Acesso em: 16 de janeiro de 2021.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais**: diversificação da produção e renda. 1 ed. Brasília: Embrapa Florestas, 2014 (Transferência de Tecnologia Florestal). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121607/1/Apostila-Serie-TT-Eucalipto.pdf>. Acesso em: 02 de Junho de 2020.

SCHMID, M. **A crescente demanda mundial por madeira é benéfica ao clima do Planeta**. Forest2Market. 2017. Disponível em: <https://www.forest2market.com/blog/br/a-crescente-demanda-mundial-por-madeira-e-benefica-ao-clima-do-planeta>. Acesso em: 20 de julho de 2020.

SCHUMACHER, F. X; HALL F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**. Washington, DC, v.47, n. 9, pg 719-734. Nov. 1933 Disponível em: <https://naldc.nal.usda.gov/download/IND43968352/PDF>. Acesso em: 27 de Dezembro de 2020.

SFB. **Manual de campo: Procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais**. Serviço Florestal Brasileiro. 2019. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/informacoes-florestais/inventario-florestal-nacional-ifn/documentos/manual-de-campo-ifn/3028-manual-de-campo/file>. Acesso em: 23 de maio de 2020.

SHIMIZU et al. **Projeto Cooperativo de Melhoramento de Pínus – PCMP**. 1 ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164559/1/Livro-Doc-308->

[1408.pdf](#). Acesso em: 29 de junho de 2020.

SHIMIZU, J. Y. **Pínus na Silvicultura Brasileira**. 1 ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179582/1/Pinus-na-silvicultura-brasileira.pdf>. Acesso em: 02 de junho de 2020.

SILVA, F. T. M. **Valorização da madeira *Eucalyptus sp.* via pirólise: caracterização e rendimentos dos produtos**. 137 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24524/3/ValorizaçãoMadeiraEucalyptus.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2020.

SILVICULTURA. In: **DICIONÁRIO Michaelis**. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/Silvicultura/>. Acesso em: 02 de junho de 2020.

SOUZA, C. A. M. **Modelos de Afilamento para *Pinus taeda L.* Ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação**. 120 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/ppgef/images/Teses2009/Carlos-Alberto-Martinelli-de-Souza.pdf>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2021.

SOUZA, et al. Modelos de afilamento para o sortimento do fuste de *Pinus taeda L.* **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2506-2511. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v38n9/a14v38n9.pdf>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2021.

STCP. **Oportunidades para florestas energéticas na geração de energia no Brasil**. STCP Engenharia de Projetos LTDA. Curitiba, 2015. Disponível em: <https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2015/11/Oportunidades-Para-Florestas-Energéticas-Na-Geração-De-Energia-No-Brasil-1.pdf>. Acesso em: 08 de junho de 2020.

STEPKA, et al. Modelos volumétricos e funções de afilamento para *Pinus taeda L.* na região Dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. **Revista Espacios**. v. 33, n. 21, p. 26-35. 2017. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n21/a17v38n21p26.pdf>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2021.

STREZOV, V.; ANAWAR, H. M. Chapter 1: Current Status of Renewable Energy Systems from Biomass: Global Uses, Acceptance, and Sustainability. In: STREZOV, V.; ANAWAR, H. M. **Renewable Energy Systems from Biomass: Efficiency, Innovation, and Sustainability**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. Cap 1, pg 1-14.

\_\_\_\_\_. Chapter 2: Modeling of Sustainable Energy System from Renewable Biomass Resource in Response to Technical Development, Lifecycle Assessment, Cost, and Availability. In: STREZOV, V.; ANAWAR, H. M. **Renewable Energy Systems from Biomass: Efficiency, Innovation, and Sustainability**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2019. Cap 2, pg 16-34.

VIANNA, et al. Modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla*

X *Eucalyptus grandis* no município de Vitória da Conquista-BA. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v. 13, n. 24, pg 746-755. 2016. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2016b/agrarias/modelos%20hipsometricos.pdf>. Acesso em: 15 de janeiro de 2021.

VAKKILAINEN, E. K.; Chapter 2: Solid Biofuels and Combustion. *In*: VAKKILAINEN, E. K. **Steam Generation from Biomass: Construction and Design of Large Boilers**. 1 ed. Cambridge: Elsevier, 2017. Cap 2, pg 18-56.

YATES, J. K. Chapter 12: Benefit / Cost Ratio Economic Evaluations. *In*: YATES, J. K. **Engineering Economics**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2017. Cap 12, pg 233-246.

## APÊNDICE A

### Script desenvolvido para o Software R, para o cálculo das relações hipsométricas.

```
##Ajuste de equações hipsometricas - Stofells, Curtis, Henriksen e Prodan##
##Autor do Script: Eng. Civil Maurício Ivan Cruz - Mestrando no Programa de Pós Graduação de
Engenharia de Energia na Agricultura - PPGEA - UNIOESTE- Cascavel##

##Leitura dos dados a partir de arquivo .txt contendo cabeçalho e duas colunas com os nomes: DAP e
Altura (sendo DAP=x e Altura=y)##
dados <- read.table("C:/Users/usuario/Documents/Engenharia
Civil/Mestrado/Dissertação/dadosestratos.txt", header = T)
dados
summary(dados)
attach(dados)

##Criação de tabelas de dados para cada regressão a partir dos dados principais##
stofells_dap=cbind(log(DAP))
stofells_altura=cbind(log(Altura))

curtis_dap=cbind(1/(DAP))
curtis_altura=cbind(log(Altura))

henriksen_dap=cbind(log(DAP))
henriksen_altura=cbind(Altura)

prodan_dap=cbind((DAP),(DAP^2))
prodan_altura=cbind((DAP^2)/(Altura-1.3))

##Aplicação das regressões lineares##
stofells=lm(stofells_altura~stofells_dap)
curtis=lm(curtis_altura~curtis_dap)
henriksen=lm(henriksen_altura~henriksen_dap)
prodan=lm(prodan_altura~prodan_dap)

##Sumário das regressões lineares - extração dos coeficientes das equações##
summary(stofells)
summary(curtis)
summary(henriksen)
summary(prodan)

##Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk##
shapiro.test(stofells$residuals)
shapiro.test(curtis$residuals)
shapiro.test(henriksen$residuals)
shapiro.test(prodan$residuals)

##Gráficos de Resíduos##
plot.default(DAP, stofells$residuals, xlab="DAP", ylab="Resíduos", abline(h=0))
boxplot(stofells$residuals, xlab="Boxplot Stofells", ylab="Resíduos")

plot.default(DAP, curtis$residuals, xlab="DAP", ylab="Resíduos", abline(h=0))
boxplot(curtis$residuals, xlab="Boxplot Curtis", ylab="Resíduos")

plot.default(DAP, henriksen$residuals, xlab="DAP", ylab="Resíduos", abline(h=0))
boxplot(henriksen$residuals, xlab="Boxplot Henriksen", ylab="Resíduos")

plot.default(DAP, prodan$residuals, xlab="DAP", ylab="Resíduos", abline(h=0))
```

```
boxplot(prodan$residuals, xlab="Boxplot Prodan", ylab="Resíduos")
```

```
##Gráficos de Resíduos - Valores Ajustados##
```

```
plot.default(stofells$fitted,stofells$residuals, xlab="Valores Ajustados", ylab="Resíduos", abline(h=0))
```

```
plot.default(curtis$fitted,curtis$residuals, xlab="Valores Ajustados", ylab="Resíduos", abline(h=0))
```

```
plot.default(henriksen$fitted,henriksen$residuals, xlab="Valores Ajustados", ylab="Resíduos", abline(h=0))
```

```
plot.default(prodan$fitted,prodan$residuals, xlab="Valores Ajustados", ylab="Resíduos", abline(h=0))
```

```
##Caso queira utilizar esta parte do script baixe o pacote ggplot2##
```

```
##Gráfico de resíduos utilizando o pacote ggplot2##
```

```
library(ggplot2)
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,stofells$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs(y='Resíduos',x='DAP')
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,curtis$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs(y='Resíduos',x='DAP')
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,henriksen$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs(y='Resíduos',x='DAP')
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,prodan$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs(y='Resíduos',x='DAP')
```

```
##Gráfico de resíduos ajustados utilizando o pacote ggplot2##
```

```
library(ggplot2)
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(stofells$fitted,stofells$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs(y='Resíduos',x='Valores Ajustados')
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(curtis$fitted,curtis$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs(y='Resíduos',x='Valores Ajustados')
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(henriksen$fitted,henriksen$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs(y='Resíduos',x='Valores Ajustados')
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(prodan$fitted,prodan$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs(y='Resíduos',x='Valores Ajustados')
```

```
##Gráficos de dispersão ajustados utilizando o pacote ggplot2##
```

```
library(ggplot2)
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,stofells_altura))+geom_smooth(aes(DAP,stofells$fitted), method=lm, se=FALSE, color='red')+labs(y='Valores Ajustados',x='DAP')
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,curtis_altura))+geom_smooth(aes(DAP,curtis$fitted), method=lm, se=FALSE, color='red')+labs(y='Valores Ajustados',x='DAP')
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,henriksen_altura))+geom_smooth(aes(DAP,henriksen$fitted), method=lm, se=FALSE, color='red')+labs(y='Valores Ajustados',x='DAP')
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,prodan_altura))+geom_line(aes(DAP,prodan$fitted), color='red')+labs(y='Valores Ajustados',x='DAP')
```

```
##Gráfico de dispersão ajustados com as 4 curvas utilizando o pacote ggplot2##
```

```
library(ggplot2)
```

```
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,exp(stofells_altura)))+geom_smooth(aes(DAP,exp(stofells$fitted)), method=lm, se=FALSE, color='purple')+geom_smooth(aes(DAP,exp(curtis$fitted)), method=lm, se=FALSE, color='blue')+geom_smooth(aes(DAP,henriksen$fitted), method=lm, se=FALSE, color='green')+geom_line(aes(DAP,(((1/prodan$fitted)*DAP^2)+1.3)), color='red')+labs(y='Valores Ajustados',x='DAP')
```

## APÊNDICE B

### Script desenvolvido para o Software R, para o cálculo da relação volumétrica.

```

##Ajuste de equações volumétrica - Schumacher e Hall 1933##
##Autor do Script: Eng. Civil Maurício Ivan Cruz - Mestrando no Programa de Pós Graduação de
Engenharia de Energia na Agricultura - PPGEA - UNIOESTE- Cascavel##

##Leitura dos dados a partir de arquivo .txt contendo cabeçalho e duas colunas: DAP e Altura (sendo
DAP=x e Altura=y)##
dados <- read.table("C:/Users/usuario/Documents/Engenharia
Civil/Mestrado/Dissertação/dadosvolume.txt", header = T)
dados
summary(dados)
attach(dados)

##Criação de tabelas de dados para a regressão a partir dos dados principais##
sch_dap=cbind(log(DAP))
sch_altura=cbind(log(Altura))
sch_volume=cbind(log(Volume))

##Aplicação da regressão linear##
schumacher=lm(sch_volume~sch_dap + sch_altura)

##Sumário da regressão linear - extração dos coeficientes da equação##
summary(schumacher)

##Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk##
shapiro.test(schumacher$residuals)

##Gráficos de Resíduos##
par(mfrow=c(2,2))
plot.default(DAP,schumacher$residuals, xlab="DAP", ylab="Resíduos", abline(h=0))
plot.default(Altura,schumacher$residuals, xlab="Altura", ylab="Resíduos", abline(h=0))
boxplot(schumacher$residuals, xlab="Boxplot Schumacher e Hall", ylab="Resíduos")
plot.default(schumacher$fitted,schumacher$residuals, xlab="Valores Ajustados", ylab="Resíduos",
abline(h=0)) ##Gráficos de Resíduos - Valores Ajustados##
par(mfrow=c(1,1))

##Gráfico de resíduos utilizando o pacote ggplot2##
library(ggplot2)
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,schumacher$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs(
y='Resíduos',x='DAP')
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(Altura,schumacher$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+lab
s(y='Resíduos',x='Altura')

##Gráfico de resíduos ajustados utilizando o pacote ggplot2##
library(ggplot2)
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(schumacher$fitted,schumacher$residuals))+geom_hline(yinter
cept=0)+labs(y='Resíduos',x='Valores Ajustados')

##Gráficos de dispersão ajustados utilizando o pacote ggplot2##
library(ggplot2)
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(DAP,sch_volume))+geom_smooth(aes(DAP,schumacher$fitte
d), method=lm, se=FALSE, color='red')+labs(y='Valores Ajustados',x='DAP')
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(Altura,sch_volume))+geom_smooth(aes(Altura,schumacher$fit
ted), method=lm, se=FALSE, color='red')+labs(y='Valores Ajustados',x='Altura')
ggplot(schumacher)+geom_point(aes(sch_dap+sch_altura,schumacher$fitted))+geom_smooth(aes(sc
h_dap+sch_altura,schumacher$fitted), method=lm, se=FALSE, color='red')+labs(y='Valores
Ajustados',x='DAP+Altura')

```

## APÊNDICE C

### Script desenvolvido para o Software R, para o cálculo do modelo de afilamento.

```
##Ajuste da equação de afilamento pelo Polinômio do 5º Grau##
##Autor do Script: Eng. Civil Maurício Ivan Cruz - Mestrando no Programa de Pós Graduação de
Engenharia de Energia na Agricultura - PPGEA - UNIOESTE- Cascavel##

##Leitura dos dados a partir de arquivo .txt contendo cabeçalho e duas colunas. O diâmetro relativo é
chamado Diametro e altura relativa chamada Altura (Altura=x e Diametro=y)##
dados <- read.table("C:/Users/usuario/Documents/Engenharia
Civil/Mestrado/Dissertação/dadosafilamento.txt", header = T)
dados
summary(dados)
attach(dados)

##Criação de tabelas de dados para a regressão a partir dos dados principais##
afilamento1_x=cbind(Altura, (Altura^2), (Altura^3), (Altura^4), (Altura^5))
afilamento1_y=cbind(Diametro)

##Aplicação da regressão linear##
afilamento1=lm(afilamento1_y~afilamento1_x)

##Sumário da regressão linear - extração dos coeficientes da equação##
summary(afilamento1)

##Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk##
shapiro.test(afilamento1$residuals)

##Gráficos de Resíduos##
plot.default(Altura,afilamento1$residuals, xlab="hi/H", ylab="Resíduos", abline(h=0))
boxplot(afilamento1$residuals, xlab="Boxplot Afilamento em função da altura relativa",
ylab="Resíduos")
plot.default(afilamento1$fitted,afilamento1$residuals, xlab="Valores Ajustados", ylab="Resíduos",
abline(h=0))

##Gráficos de Resíduos - Valores Ajustados##
plot.default(afilamento1$fitted,afilamento1$residuals, xlab="Valores Ajustados", ylab="Resíduos",
abline(h=0))

##Gráfico de resíduos utilizando o pacote ggplot2##
library(ggplot2)
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(Altura,afilamento1$residuals))+geom_hline(yintercept=0)+labs
(y='Resíduos',x='hi/H')

##Gráfico de resíduos ajustados utilizando o pacote ggplot2##
library(ggplot2)
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(afilamento1$fitted,afilamento1$residuals))+geom_hline(yinterc
ept=0)+labs(y='Resíduos',x='Valores Ajustados')

##Gráficos de dispersão ajustados e linha de função de afilamento, utilizando o pacote ggplot2##
library(ggplot2)
ggplot(dados=dados)+geom_point(aes(Altura,afilamento1_y))+geom_line(aes(Altura,afilamento1$fitte
d), color='red')+labs(y='Diâmetro Relativo - di/D',x='Altura Relativa - hi/H')

##Gráficos da linha de função de afilamento, utilizando o pacote ggplot2##
library(ggplot2)
ggplot(dados=dados)+geom_line(aes(Altura,afilamento1$fitted), color='red')+labs(y='Diâmetro Relativo
- di/D',x='Altura Relativa - hi/H')
```