

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO OESTE
UNICENTRO

ALEXANDRE ANTOSZCZYSZEN

PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS COMO ALTERNATIVA PARA OBTENÇÃO DE
VOLUME DE MADEIRA EM FLORESTAS PLANTADAS

Irati - PR

2023

ALEXANDRE ANTOSZCZYSZEN

PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS COMO ALTERNATIVA PARA OBTENÇÃO DE
VOLUME DE MADEIRA EM FLORESTAS PLANTADAS

Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Ciências Florestais, na área
de Otimização Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo Arce.

Irati – PR

2023

Catálogo na Publicação
Rede de Bibliotecas da UNICENTRO

A635p

Antoszczyszen, Alexandre

Predição dos parâmetros como alternativa para obtenção de volume de madeira em florestas plantadas / Alexandre Antoszczyszen. -- Irati, 2023. xi, 60 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Otimização Florestal, 2023.

Orientador: Julio Eduardo Arce

Coorientador: Rodrigo Otávio Veiga de Miranda

Coorientador: Luciano Farinha Watzlawick

Banca examinadora: Julio Eduardo Arce, Andrea Nogueira Dias, Ximena Mendes de Oliveira, Hassan Camil David

Bibliografia

1. Cubagem. 2. Função de afilamento. 3. Modelagem Florestal. 4. Inventário Florestal. 5. Aperfeiçoamento e Otimização. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

CDD 634.9



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE/UNICENTRO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPESP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS - PPGF



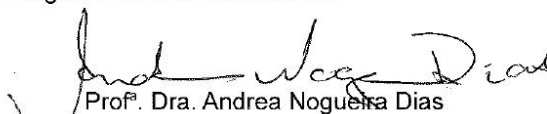
TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 171

Alexandre Antoszczyszen


"PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS COMO ALTERNATIVA PARA OBTENÇÃO DE VOLUME DE MADEIRA EM FLORESTAS PLANTADAS".


Dissertação aprovada em 27/07/2023, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:


Prof.ª. Dra. Andrea Nogueira Dias
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Primeira Examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br XIMENA MENDES DE OLIVEIRA
Data: 28/07/2023 11:37:29-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.ª. Dra. Ximena Mendes de Oliveira
Universidade Federal Rural da Amazônia
Segunda Examinadora


Prof. Dr. Hassan Camil David
Universidade Federal do Paraná
Terceiro Examinador


Prof. Dr. Júlio Eduardo Arce
Universidade Federal do Paraná/Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR
2023

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Salvatore Renna – Padre Salvador, 875, Bairro Santa Cruz – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090
CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA - PR

Campus Cedeteg: Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Bairro Vila Carlí – Fone: (42) 3628-8109 – CEP 85.040-167 – GUARAPUAVA – PR

Campus de Irati: Rua Professora Maria Roza Zanoni de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000
CEP 84.505-677 – IRATI – PR

AGRADECIMENTOS

A minha amada filha Olivia, por se minha fonte de inspiração e mostrar que por amor conseguimos conquistas nunca imaginadas e que nada é maior do que o amor por uma filha.

Aos meus Pais que sempre me apoiaram e fortaleceram a importância de obter conquistas por meio de estudo e empenho em tudo aquilo que idealizo e realizo.

A minha esposa que sempre me incentivou a correr atrás de meus sonhos, me fortaleceu em momentos bons e difíceis e tem me acompanhado em todos os passos de minha vida.

Aos meus familiares que sempre estão do meu lado e posso contar sempre que precisar, vocês são fundamentais

Ao meu Orientador Prof. Dr. Julio Eduardo Arce, pelo companheirismo, amizade e toda a troca de experiência profissional e acadêmica.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda, por todo aprendizado compartilhado desde a graduação, professor que inspirou a seguir na área de manejo.

Ao meu coorientador Prof. Luciano Farinha Watzlawick pela enorme sabedoria compartilhada e humildade, uma grade exemplo de Docente.

Ao Ataídes Marinheski Filho, pelas oportunidades em evoluir profissionalmente, amizade, por incentivar a novos desafios e buscar horizontes desafiadores.

Às Professores Dra. Andrea Nogueira Dias, Dra. Ximena Mendes de Oliveira, Dra. Sintia Valerio Kohler, Dr. Hassan Camil David e pela enobrecedora presença na banca avaliativa.

A todos meus amigos, pelo companheirismo e amizade ao longo dos anos, pelas felicidades vividas, pelos incentivos e parceria.

RESUMO

Alexandre Antoszczyszen. **Predição dos Parâmetros, uma Alternativa para Obtenção de Volume sem o uso de Cubagem Destrutiva**

O estudo teve como objetivo avaliar a aplicação da técnica de predição de parâmetros na função de afilamento de *Schöpfer*, tendo como variáveis de entrada, dados dendrométricos de unidades amostrais. A região de estudo está localizada no Planalto Norte Catarinense, região de Santa Catarina, Brasil. Foram utilizados os dados de inventário contínuo realizado no ano de 2018, abrangendo povoamentos florestais com idades variadas de 5 a 16 anos e informações de cubagem destrutiva de 130 árvores de *Pinus taeda L.*, mesuradas pelo método de *Hohenadl*, as árvores amostradas foram selecionadas levando em conta a classe de diâmetro, idade, densidade e sítio florestal. As unidades amostrais utilizadas no ajuste, foram selecionadas por distância euclidiana, e as variáveis dendrométricas destas unidades serviram como variáveis de entrada no modelo¹ sugerido pelo autor. Para efeito comparativo, a função de afilamento foi ajustada em quatro diferentes classes de idade, com amplitude de 2,5 anos, neste trabalho denominado como ajuste convencional. Para desenvolvimento da técnica de Predição de Parâmetros, utilizou-se 29 unidades amostrais, com referência as árvores cubadas. Os modelos ajustados foram avaliados estatisticamente pelo erro padrão da estimativa ($S_{yx\%}$), coeficiente de terminação ajustado (R^2_{ajt}) e dispersão de resíduos ($Res\%$), além de comparativos quantitativos com os valores observados de volume, diâmetro ao longo do fuste e fator de forma, bem como avaliações gráficas da forma das árvores. Os resultados indicam que tanto o ajuste convencional como a técnica de predição dos parâmetros são adequadas e precisas para estimar diâmetros, volume e quantificar sortimento da floresta. O modelo proposto possui limitações quanto o uso da técnica de *stepwise*, é capaz de gerar uma equação de afilamento por árvore e descrever precisamente o afilamento de árvores a partir do cálculo dos coeficientes utilizando variáveis dendrométricas.

Palavras-chave: Cubagem; Função de afilamento; Modelagem Florestal; Inventário Florestal; Aperfeiçoamento e Otimização.

ABSTRACT

Alexandre Antoszczyszen. **Parameter Prediction, an Alternative for Obtaining Volume without the use of Rigorous Cubing**

The study aimed to evaluate the application of the parameter prediction technique in the 'Schöpfer' tapering function, using dendrometric data from sample units as input variables. The study region is located in the "Planalto Norte Catarinense, Santa Catarina" region, Brazil. Data from the continuous inventory carried out in 2018 were used, covering forest stands with ages ranging from 5 to 16 years and information on the destructive cubage of 130 *Pinus taeda* L. trees, sampled using the Hohenadl methodology, stratified by diameter class, age, density, and forest site. The sampling units used in the adjustment were selected by Euclidean distance, and the dendrometric variables of these units served as inputs variables in the model suggested by the author. For comparative purposes, the tapering function was adjusted in four different age classes, with an amplitude of 2.5 years, in this work denominated as conventional adjustment. For the development of the Parameter Prediction technique, 29 sample units were used, with reference to cubed trees. The adjusted models were statistically evaluated by the standard error of the estimate ($S_{yx\%}$), adjusted termination coefficient (R^2_{ait}), and residual dispersion ($Res\%$), in addition to quantitative comparisons with the observed values of volume, diameter along the bole, and form factor, as well as graphical assessments of tree shape. The results indicate that both the conventional fit and the parameter prediction technique are adequate and accurate for estimating diameters, volume, and quantifying forest assortment. The proposed model has limitations regarding the use of the stepwise technique, but it is capable of generating a thinning equation per tree and precisely describing the thinning of trees by calculating coefficients using dendrometric variables.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
SUMÁRIO.....	8
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 PRODUÇÃO FLORESTAL.....	14
3.2 INVENTÁRIO FLORESTAL.....	15
3.3 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO FLORESTAL.....	16
3.4 CUBAGEM FLORESTAL	17
3.5 MODELAGEM FLORESTAL	18
3.6 AFILAMENTO DO FUSTE	19
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS.....	21
4.2 INVENTÁRIO FLORESTAL.....	21
4.3 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO FLORESTAL.....	22
4.4 ESTRATÉGIA DE CUBAGEM.....	23
4.5 FUNÇÃO DE AFILAMENTO	28
4.5.1 Ajuste convencional do modelo de Schöpfer	28
4.5.2 Ajuste do modelo de Schöpfer pela predição dos parâmetros	29
4.6 SORTIMENTO	30
4.7 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	30

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1 CLASSIFICAÇÃO DO SÍTIO FLORESTAL	33
5.2 AJUSTE DA FUNÇÃO DE AFILAMENTO PELO MÉTODO CONVENCIONAL ..	35
5.3 AJUSTE DA FUNÇÃO DE AFILAMENTO PELA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS	
39	
5.4 COMPAÇÃO DE AJUSTES E VOLUMETRIA.....	45
5.5 ANÁLISE DE SORTIMENTO	48
6 CONCLUSÃO.....	51
APÊNDICE A.....	52
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: VARIAÇÃO DE DIÂMETRO OBSERVADO MÉDIO AO LONGO DO FUSTE, EM RELAÇÃO A ALTURA RELATIVA (%) POR CLASSE DE DIÂMETRO	27
FIGURA 2: VARIAÇÃO DE DIÂMETRO OBSERVADO MÉDIO AO LONGO DO FUSTE, EM RELAÇÃO A ALTURA ABSOLUTA (CM) POR CLASSE DE DIÂMETRO.	27
FIGURA 3: DISTRIBUIÇÃO DAS ALTURAS DOMINANTES OBSERVADAS SOB AS CURVAS DE LIMITE DE SÍTIOS GERADAS PELA CURVA GUIA PARA <i>PINUS TAEDA L.</i> NA REGIÃO DO PLANALTO NORTE CATARINENSE	33
FIGURA 4: DISPERSÃO DE RESÍDUOS PARA AS CURVAS DE SÍTIOS GERADAS PELA CURVA GUIA PARA <i>PINUS TAEDA L.</i> NA REGIÃO DO PLANALTO NORTE CATARINENSE	35
FIGURA 5: DISPERSÃO DE RESÍDUOS (d_i/d_{ap}) DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER PELO MÉTODO CONVENCIONAL	36
FIGURA 6: DISPERSÃO DE RESÍDUOS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER PARA DIFERENTES CLASSES DE IDADE DE <i>PINUS TAEDA L.</i>	37
FIGURA 7: DISPERSÃO DE VOLUMES CALCULADOS PELA FÓRMULA DE SMALIAN E VOLUME ESTIMADOS PELO MODELO DE SCHÖPFER, AJUSTADO PELA TÉCNICA CONVENCIONAL	38
FIGURA 8: DIFERENÇA % DE VOLUMES CALCULADOS PELA FÓRMULA DE SMALIAN E VOLUME ESTIMADOS PELO MODELO DE SCHÖPFER, AJUSTADO PELA TÉCNICA CONVENCIONAL	38
FIGURA 9: DISPERSÃO DE RESÍDUOS (d_i/d_{ap}) DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER A NÍVEL DE UNIDADE AMOSTRAL	40
FIGURA 10: DI OBSERVADO EM RELAÇÃO AO ESTIMADO, REMOVENDO OS COEFICIENTES NÃO SIGNIFICATIVOS PELO MÉTODO STEPWISE	41
FIGURA 11: DISPERSÃO DE RESÍDUOS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER POR PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS PARA UM POVOAMENTO DE <i>PINUS TAEDA L.</i>	43
FIGURA 12: DI OBSERVADO EM RELAÇÃO AO ESTIMADO, REMOVENDO VARIÁVEIS COM BAIXA SIGNIFICÂNCIA	44

FIGURA 13: DI/DAP OBSERVADO EM RELAÇÃO AO ESTIMADO, MÉTODO CONVENCIONAL X PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS.....	45
FIGURA 14: VOLUME CALCULADOS E ESTIMADOS, AJUSTE CONVENCIONAL E PELA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS.....	46
FIGURA 15: VARIAÇÃO DE DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE, CUBAGEM E ESTIMADOS PELA TÉCNICA CONVENCIONAL DE AJUSTE E PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS.	48
FIGURA 16: SOMATÓRIA DE VOLUME DE SORTIMENTO PELA TÉCNICA CONVENCIONAL (AJUSTE POR IDADE) E PELA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS.	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS APLICADO NA CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE CRESCIMENTO DE SÍTIO FLORESTAL PARA <i>PINUS TAEDA L.</i>	22
TABELA 2: CLASSES DE CUBAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA, DENSIDADE E IDADE PARA O SÍTIO FLORESTAL 1.....	24
TABELA 3: CLASSES DE CUBAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA, DENSIDADE E IDADE PARA O SÍTIO FLORESTAL 2.....	24
TABELA 4: CLASSES DE CUBAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA, DENSIDADE E IDADE PARA O SÍTIO FLORESTAL 3.....	25
TABELA 5: NÚMERO DE ÁRVORES CUBADAS DE <i>PINUS TAEDA L.</i> , DE ACORDO COM O SÍTIO, ESPAÇAMENTO E IDADE.	25
TABELA 6: VOLUME MÉDIO CALCULADO (m ³) E FATOR DE FORMA POR CLASSE DE DIÂMETRO E ALTURA.	26
TABELA 7: VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS, MÉDIAS POPULACIONAIS E ESTATÍSTICAS POR VARIÁVEL.....	31
TABELA 8: VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS A NÍVEL DE UNIDADE AMOSTRAL.	31
TABELA 9: CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO FLORESTAL GERADAS PELA CURVA GUIA PARA <i>PINUS TAEDA L.</i> NA REGIÃO DO PLANALTO NORTE CATARINENSE.	34
TABELA 10: COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DA REGRESSÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS DE <i>PINUS TAEDA L.</i>	34
TABELA 11: COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER.....	36
TABELA 12: COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER A NÍVEL DE UNIDADE AMOSTRAL.....	39
TABELA 13: COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS NO AJUSTE DO MODELO 01.	41
TABELA 14: COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS NO AJUSTE DO MODELO 01	42
TABELA 15: INTERVALO MÍNIMO E MÁXIMO DOS COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER OBTIDOS PELA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS.....	45

TABELA 16: VOLUMES OBSERVADOS E ESTIMADOS (M ³) POR CLASSE DE DIÂMETRO E ALTURA E DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE OS VOLUMES DE <i>PINUS TAEDA L.</i>	47
TABELA 17: TESTE DE MÉDIAS APLICADO AOS VALORES DE VOLUME POR SORTIMENTO DE <i>PINUS TAEDA L.</i>	49
TABELA 18: TESTE DE MÉDIAS APLICADO AOS VALORES DE VOLUME COMERCIAL POR UNIDADE AMOSTRAL DE <i>PINUS TAEDA L.</i>	50

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que a área de floresta plantada no Brasil é de 9,93 milhões de hectares e que somente em 2021 rendeu um valor de produção de R\$ 244,60 bilhões, sendo um dos principais contribuintes para a economia nacional, deste montante, cerca de 1,93 milhões de hectares é constituído por *Pinus*, onde 88,9% dos plantios concentram-se na região sul, com maior proporcionalidade nos estados do Paraná e Santa Catarina (IBÁ, 2022).

No cenário de produção de florestas, inúmeros produtos são gerados, sendo fornecidos matéria prima ou processados (madeira serrada, papel e celulose, painéis etc.). Para obtenção destes produtos, uma rede de informação e execução lógica de processos é necessária, partindo desde o planejamento, a implantação florestal até o momento da colheita e transporte.

Dentre as atividades desenvolvidas no setor florestal, pode-se elencar a cubagem com uma das principais, sendo a fonte de dados para obtenção das equações volumétricas e de afilamento. Essas equações são fundamentais no planejamento, pois representam o dimensionamento da produção de madeira e fornece subsídio para tomada de decisões. (BATISTA *et al.*, 2014).

A cubagem é o principal método de mensuração de volume real de árvores. De acordo com Silva *et al.* (2018), a cubagem rigorosa é o processo de mensuração de diferentes diâmetros em alturas conhecidas ao longo da árvore, que poderão servir como base para obtenção de equações para estimativa de volumes totais ou parciais.

Deve-se buscar a otimização da produção florestal, identificando diversos produtos que a floresta fornece e assim maximizar a receita. Desta forma, se faz fundamental o conhecimento sobre o sortimento da floresta e pesquisas que aprimorem este processo, garantindo estimativas acuradas dos multiprodutos (KOHLENER *et al.*, 2013).

Para Farias *et al.* (2019), a cubagem é um método oneroso, devido à dificuldade e custo alto, assim, o uso de equações que estimam o volume se tornam fundamentais na redução e custos e viabilidade do processo, pois permitem a obtenção da variável de interesse de forma indireta e com precisão.

Desta forma, a proposição de técnicas que estimam os parâmetros de um modelo surge como alternativa viável para obtenção de equações que representem de forma precisa a variação de forma das árvores a partir das variáveis

dendrométricas da floresta, possibilitando a obtenção de volumetria sem realizar a derrubada de árvores ou reduzindo expressivamente o número de árvores a serem cubadas.

2 OBJETIVOS

Empregar a técnica de predição de parâmetros como uma alternativa para a obtenção de volumes totais e parciais em florestas plantadas, visando a redução dos custos de inventário florestal.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ajustar o modelo de *Schöpfer* pelo método convencional de regressão linear e avaliar as estatísticas da equação;
- Avaliar o ajuste da função de afilamento utilizando a técnica de predição de parâmetros e compará-lo com o método convencional de ajuste por regressão linear;
- Comparar os volumes (m^3) obtidos por classe de sortimento entre a técnica de predição de parâmetros e o método convencional.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRODUÇÃO FLORESTAL

Atualmente, estima-se que no Brasil há pelo menos 9,93 milhões de hectares de floresta plantada, onde cerca de 76% correspondem a *Eucalyptus*, 19% ao *Pinus* e 5% a outras espécies (IBÁ, 2022). A Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) indica que em conjunto com o reflorestamento, pelo menos 6,05 milhões de hectares de floresta nativa são conservados, caracterizando a técnica chamada de mosaico florestal e que o setor florestal apresenta escala crescente, principalmente na indústria de papel e celulose, a qual lidera o índice de exportação (US\$ 8,6 bi), e apesar de vários seguimentos apresentarem declínio após a pandemia do COVID-19, o setor florestal apresentou resiliência, colaborando positivamente com a economia nacional, com crescimento de 7,5% em 2021, atingido recordes na receita bruta de R\$ 244,6 bilhões.

O setor florestal e sua cadeia produtiva são caracterizados pela ampla diversidade de processos e produtos industrializados como celulose, papel, painéis de madeira, laminados, madeira serrada, móveis e molduras e carvão vegetal, além dos produtos não madeireiros, onde todos estão diretamente relacionados com o desenvolvimento econômico e social (MOREIRA e OLVEIRA, 2017).

Historicamente, grande parte da evolução do setor florestal se dá em função do Fundo de Investimento Setoriais (FISSET), tornado possível a expansão em grande escala do setor entre os anos de 1970 e 1980. Os investimentos garantiram melhorias expressivas na qualidade de materiais genéticos, pesquisa e uso de práticas silviculturais que trouxeram maiores produtividades, além de variados benefícios ambientais (VIEIRA e SOUZA, 2021).

Outros fatores como o crescimento da população associado ao desenvolvimento de novas tecnologias de uso da madeira, expansão do comércio e o aumento constante de áreas com aptidão agrícola e pecuária, influenciaram diretamente na mudança de estrutura da floresta, evidenciando que a busca por maior produtividade é uma necessidade, para garantir assim, a disponibilidade de matéria prima e menor impacto ambiental (SANTOS *et al.*, 2017).

A comercialização de produtos florestais influencia no desenvolvimento socioeconômico do país, assim é fundamental desenvolver estudos que possibilitam

obter resultados adequados e satisfatórios, principalmente quando são direcionados a estimadores de estoque florestal, uma vez que estimativas de produção imprecisas, podem gerar planejamentos inadequados, trazendo prejuízos ao produtor florestal (MIRANDA *et al.*, 2015).

3.2 INVENTÁRIO FLORESTAL

Para Vieira e Souza (2021), o inventário florestal é parte fundamental no acompanhamento do desenvolvimento da floresta, uma vez que a técnica permite obter características qualitativas e quantitativas do reflorestamento, auxiliando no planejamento florestal e permitindo alcançar os objetivos traçados no plano de manejo. Dentre os variados fins, um dos principais objetivos do inventário florestal é quantificar o volume total de uma Floresta e que com a evolução dos sistemas de inventário e da tecnologia, tanto de *softwares* como de equipamentos, é possível obter informações com maior nível de detalhamento, bem como, definir áreas específicas para manejo (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

Para Figueiredo (2020), os inventários passaram a ser muito mais complexos, com avanço da tecnologia e novas exigências dos órgãos ambientais, os inventários que antes eram utilizados apenas para obtenção de volume total, agora são utilizados para inúmeras finalidades, atendendo diferentes peculiaridades de acordo com o objetivo a ser atingido.

De acordo com Taquetti (2014), o inventário é uma parte fundamental do manejo florestal, fornecendo os dados necessários para o planejamento e as atividades que poderão ser desenvolvidas na área de estudo, como colheita, análise financeira e os custos e receitas geradas. O mesmo autor ainda conclui que a coleta de dados deve ser baseada no tipo de modelagem a ser empregada, de modo que os objetivos propostos possam ser atendidos. Uma das informações mais requeridas é o estoque florestal, com essa informação é possível caracterizar o reflorestamento de acordo com seu potencial produtivo, permitindo desenvolver estudos que buscam explicar o crescimento e estrutura da floresta (SCOLFORO, 1997).

As variáveis de interesse podem ser obtidas por meio do censo ou amostragem, onde no primeiro caso todos os indivíduos de uma população são mensurados e no segundo, apenas parte da população. Dentro de uma amostra, existem indivíduos comuns que compartilham particularidades que caracterizam uma população, as

amostras selecionadas devem ser representativas, contemplando as variações existentes na floresta de maneira uniforme (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

3.3 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO FLORESTAL

Durante a formação de povoamentos florestais, uma prática comum é a identificação de unidades de produção, que podem ser expressas de diferentes maneiras, uma delas trata da definição de sítios florestais. Os sítios florestais são utilizados para avaliar a capacidade produtiva de uma espécie em um local específico. Portanto, a maioria das decisões tomadas durante o planejamento depende ou é baseada na classificação dos sítios (MIGUEL et al., 2011).

De acordo com Selle (1994), a determinação dos sítios é um fator essencial na gestão de povoamentos florestais, especialmente quando o objetivo é otimizar os recursos por meio de um sistema integrado de manejo. Segundo Scolforo (1998), a classificação das áreas florestais com base em seu potencial produtivo desempenha papel importante ao auxiliar os gestores das empresas florestais. Isso ocorre porque o índice que expressa essa produtividade é uma variável necessária nos modelos de crescimento e produção comumente utilizados. O mesmo autor afirma que, a classificação dos sítios florestais é uma prática crucial para o planejamento eficiente e a tomada de decisões informadas no manejo de florestas.

Existem várias metodologias para construir curvas de sítio, sendo as mais destacadas o método da curva-guia, o método da equação das diferenças e o método de predição dos parâmetros. As curvas resultantes podem ser classificadas como anamórficas ou polimórficas e podem ser disjuntas ou não disjuntas (CLUTTER et al., 1983). Campos e Leite (2013) também mencionam o método da atribuição preliminar de índices locais como uma das alternativas utilizadas.

As curvas anamórficas são amplamente utilizadas, porém, diversos autores argumentam que esse tipo de curva pode não representar com precisão o crescimento de um povoamento, pois assume uma taxa de crescimento constante para todos os sítios. Por outro lado, as curvas polimórficas levam em conta a variação na capacidade produtiva de cada sítio, resultando em diferentes tendências de crescimento em altura (SCAVINSKI *et al.*, 2014).

3.4 CUBAGEM FLORESTAL

Mensurar corretamente o volume total de madeira e seus derivados é fundamental para entender e analisar o potencial produtivo. Conhecer o estoque disponível em uma floresta é importante para planejar e monitorar plantios comerciais, estudar crescimento e produção e quantificar multiprodutos (SOUZA et al., 2016).

A técnica mais empregada para quantificar o estoque de uma floresta é o inventário florestal por amostragem, além disso, é possível obter o volume do povoamento com a mesma estratégia, onde parte da população é mensurada por meio da técnica de cubagem rigorosa, onde as árvores são previamente selecionadas de acordo com as classes de diâmetro e altura e, assim, medidas são realizadas ao longo do fuste (BONAZZA *et al.*, 2015). Os volumes das árvores que não participaram da amostragem podem ser obtidos por meio de equações volumétricas ou fatores de forma obtidos a partir da base de dados de cubagem.

É de conhecimento que o fuste de uma árvore se assemelha a determinados sólidos geométricos. Apesar desta semelhança, não é possível determinar o início e fim destas figuras geométricas, nesta possibilidade de obter o volume real da árvore, bastaria aplicar equações que correspondem a cada sólido ao longo do fuste, este processo é praticamente impossível, assim, metodologias de cubagem foram desenvolvidas as quais permitem quantificar o volume total das árvores (GOMES, 1957).

As técnicas consistem em determinar o volume de variadas seções ao longo do fuste, podendo ser realizada com a derrubada da árvore pelo método destrutivo, ou com árvore ainda em pé (não destrutivo), no segundo caso, o uso de equipamentos que permitem medir diâmetros a distância se faz necessário, como o dendrômetro, pentaprisma, relascópio ou telerelascópio, ou medidas diretas realizando a escalada na árvore (LANCHINI, 2010).

A cubagem deverá representar adequadamente a população, desta forma, deve-se amostrar as diferentes classes de diâmetro e altura existentes na floresta, os indivíduos que ocorrem dentro de uma mesma classe e em condições silviculturais equivalentes ou de manejo, tendem a possuir formas semelhantes e constantes (GOMES, 1957).

Reconhecer as variações da forma do tronco é fundamental para identificar os possíveis usos de destinação da madeira produzida, conhecido comumente como

sortimento. Assim, para que seja possível fazer a classificação desses usos, equações são obtidas pela técnica de regressão, utilizando como entrada as variáveis reais obtidas pelos métodos de cubagem (ANDRADE, 2006), nos quais se destacam o de Hohenald, Smalian, Huber e o de Newton, conforme mencionado por Campos e Leite (2002) e Machado e Figueiredo Filho (2006).

Para Cabacinha *et al.* (2013) os métodos podem ser separados entre absolutos e relativos. Os métodos absolutos não possuem relação com a altura total da árvore, ou seja, as medidas são realizadas em distâncias pré-definidas, nos métodos relativos, a altura total da árvore influencia diretamente nos pontos de medição, uma vez que os pontos são definidos por uma relação percentual em função da altura total.

3.5 MODELAGEM FLORESTAL

A melhor forma de direcionar o planejamento florestal é por meio do ajuste de modelos que possam representar a dinâmica natural do crescimento de um povoamento florestal (CASTRO NETO, 2015).

O estudo detalhado de um povoamento florestal depende do entendimento da análise de diferentes variáveis dendrométricas, que podem ser expressas de forma qualitativa ou quantitativa. No conjunto de variáveis, pode-se distinguir aquelas que podem ser facilmente medidas e aquelas de difícil obtenção, as quais podem ser obtidas de forma indireta, por meio daquelas de fácil “acesso”, desde que exista correlação entre elas (FINGER, 1992).

A análise de regressão tem sido utilizada para solucionar inúmeros problemas no setor florestal, especialmente quando se tem o objetivo de obter estimativas de parâmetros da floresta com menor tempo e custo, por meio de funções estatísticas que promovem estimativas de forma indireta. Para Freese (1964), os objetivos mais comuns da aplicação dos métodos de regressão são os seguintes: encontrar uma função que possa ser utilizada para descrever a relação entre a variável dependente e uma ou mais variáveis independentes; testar hipóteses sobre a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes.

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2006), a medição de todas as árvores de uma floresta, com a finalidade de conhecer seu volume é, muitas vezes uma tarefa impraticável. Por isso, quase sempre, ela é inventariada por amostragem. O ajuste de

modelos estatísticos para estimar o volume das árvores é um processo que permite estimar essa variável a partir de uma base de dados representativa da população.

Existem diversos modelos empíricos difundidos na literatura que podem ser classificados de acordo como nível de detalhamento, sendo eles, (1) os modelos explícitos ou de povoamento total, que resultam em estimativas em nível de área, a partir de dados e informações relacionados ao povoamento, como idade, índice de sítio, densidade de árvores, área basal, entre outros; (2) Modelos implícitos ou de classe diamétrica, que tem como finalidade avaliar a produção, tendo como finalidade obter os parâmetros da função de frequência dos diâmetros por meio de certas estatísticas como idade, sítio e densidade; (3) E modelos por árvore individual, que irão avaliar a produção florestal a nível de árvore como objetivo da estimativa (CLUTTER et al., 1983; CAMPOS e LEITE, 2013; CASTRO et al., 2013).

Fogliatto (2000), afirma que dentre as técnicas mais utilizadas de modelagem, destaca-se a análise de regressão linear e não linear. Essa análise tem com princípio determinar uma equação por meio de um modelo que descreva adequadamente o efeito de uma ou mais variáveis independentes sobre uma variável dependente objetivo. O mesmo autor indica que a aplicação da técnica de modelagem em um grupo de variáveis resulta na obtenção de coeficientes da equação, que expressam e ponderam os efeitos das variáveis de entrada, sob a variável a ser estimada e que modelos que possuem uma única variável dependente podem ser classificados como univariados, enquanto os que possuem múltiplas são denominados de modelos multivariados.

3.6 AFILAMENTO DO FUSTE

Segundo Campos e Leite (2013), a função de afilamento, também conhecida como função de forma ou função "*taper*", refere-se à redução do diâmetro ao longo do fuste de uma árvore, considerando-a como um sólido de revolução. As funções ou equações de afilamento têm a capacidade de estimar o diâmetro em qualquer altura do tronco, determinar a altura comercial correspondente a um diâmetro mínimo de interesse e calcular o volume parcial ou total do fuste por meio da integração das áreas das seções transversais do tronco (Husch *et al.*, 1982).

No entanto, é importante destacar que uma mesma equação de afilamento pode fornecer estimativas precisas para o diâmetro em diferentes alturas do tronco,

mas ao ser aplicada para estimar alturas comerciais, pode gerar resultados viesados. Isso ocorre porque, em geral, os coeficientes da equação de afilamento são obtidos por meio da minimização de erros relacionados ao diâmetro e não à altura, e ao aplicar essa equação para estimar alturas, podem ocorrer imprecisões devido à falta de consideração dos fatores que afetam especificamente o crescimento em altura das árvores (CAMPOS e LEITE, 2013).

Scolforo (1993) desta que, em termos de precisão, as funções de afilamento e as equações de volume são equivalentes, porém, as aplicações das funções de afilamento são mais amplas, permitindo estimar o volume de qualquer porção da árvore, assim como a classificação por sortimentos do volume.

A amostragem para geração de equações de volume para florestas equiâneas é feita, usualmente, por espécie, espaçamento, classe de idade e regime de corte (CAMPOS e LEITE, 2013) e, neste caso, estimam bem o estoque e volume individual de árvores. No caso das funções de afilamento, sua utilização é estritamente importante para determinar o sortimento de cada indivíduo, a partir da integral da função que expressa o diâmetro ao longo do fuste.

A necessidade de otimizar o uso dos recursos florestais e obter múltiplos produtos da madeira tem impulsionado estudos relevantes nessa área. Esses estudos têm aplicação clara, especialmente no planejamento da produção de grandes empresas do setor florestal, onde é crucial garantir o fluxo contínuo de matéria prima e a viabilidade econômica. Ao manejar adequadamente as florestas e buscar a diversificação dos produtos derivados da madeira, é possível maximizar os lucros, agregando valor ao recurso. Além disso, a obtenção de múltiplos produtos reduz o impacto das flutuações do mercado em cada produto individualmente (ASSIS *et al.*, 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados para realização desta pesquisa foram disponibilizados pela empresa Brasil Florestal Gestão e Negócios S.A. Os dados foram coletados no ano de 2018 na região do planalto norte catarinense, em estratos diversificados de *Pinus taeda L.* com idades variando de 5 a 16 anos. Os plantios florestais foram conduzidos sem intervenção por desbaste, tendo como principal finalidade a produção de matéria prima para papel e celulose.

Ocorrem na região uma combinação de Gleissolos, Latossolos Vermelho, Neossolos, havendo predominância de Cambissolos. O clima é classificado como Cfb, Clima temperado com verão ameno. Com distribuição uniforme de chuvas, sem estação seca, precipitação variando de 1.100 a 2.000 mm, com temperatura média do mês mais quente menor que 22 °C, de acordo com a classificação Koppen e Geiger (1928).

Para compilação, organização e processamento dos dados utilizou-se o software *Microsoft Excel 365*.

4.2 INVENTÁRIO FLORESTAL

Para esta pesquisa, utilizou-se dados coletados de inventário florestal contínuo (IFC), pelo método da área fixa e processo de amostragem sistemática na intensidade de 1 unidade amostral a cada 10 hectares. As unidades amostrais possuem formato circular com área total de 400 m², e cada árvore ocupa cerca de 7 m². Em cada unidade amostral, coletou-se todos os diâmetros à altura do peito (dap) com o uso de suta. As alturas totais foram mensuradas como hipsômetro *Vertex IV, Haglof*, medindo as 10 primeiras árvores (ht), mais 4 árvores dominantes segundo a metodologia de Assmann (1970), na qual a medição se dá pela proporcionalidade de 100 árvores dominantes existentes por hectare.

Para realizar o ajuste dos modelos, optou-se por selecionar u.a. mais próximas dos pontos de cubagem, utilizando a métrica da distância euclidiana, que representa a menor distância em linha reta. A u.a mais distante relacionada estava a uma

distância de 109 metros, e em média as parcelas mais próximas apresentaram uma distância de 35 metros das árvores cubadas.

Ao todo, foram selecionadas 29 unidades como amostras, com as variáveis dendrométricas desempenhando o papel de variáveis de entrada. Ao relacionar essas u.a. com as árvores cubadas, obteve-se um total de 130 observações de entrada para ajuste do modelo 2, garantindo, no mínimo, 122 graus de liberdade.

As variáveis utilizadas no ajuste do modelo, partem de mensurações diretas, como diâmetro à altura do peito (dap), altura total (ht), área transversal (g), médias populacionais, diâmetro quadrático médio (dg), altura dominante (H_{dom}) e altura média (ht_m) ou de extrapolação para a 1 ha (10.000 m²), área basal (G), número de fustes vivos (N). Além das informações que são obtidas por meio da mensuração, utilizou-se também dados cadastrais como a variável idade (I).

4.3 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO FLORESTAL

A determinação da capacidade produtiva ou sítio florestal, pode ser determinada através do método de relação entre a altura dominante (H_{dom}) e idade de árvores dominantes. As curvas de sítio são elaboradas em função da altura dominante média de cada unidade amostral, variável pouco influenciada por tratamentos silviculturas, que estão altamente correlacionadas com a capacidade produtiva de determinado sítio florestal. Neste projeto utilizou-se o modelo de *Chapman e Richards* (1959) para estimar a altura dominante na idade índice, definido também como sítio florestal, conforme a Tabela 1.

TABELA 1: MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS APLICADO NA CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE CRESCIMENTO DE SÍTIO FLORESTAL PARA *PINUS TAEDA L.*

Modelo	Modelo original	Modelo-Guia
Chapman-Richards	$h_{dom} = \theta_1 \cdot (1 - e^{-K \cdot I})^{(1-m)^{-1}} + \varepsilon$	Resolvido por θ_1 : $h_{dom} = S \cdot \left[\frac{1 - e^{(-K \cdot I)}}{1 - e^{(-K \cdot I_i)}} \right]^{(1-m)^{-1}} + \varepsilon$

h_{dom} : altura dominante, em m; I: idade, em anos; S: índice de sítio, em m; I_i : idade-índice; K, q_i , β_i and m: parâmetros do modelo; e: exponencial de Euler; ε : erro aleatório.

Para gerar as curvas índices de sítio, utilizou-se o método da curva-guia, onde a equação ajustada representa a tendência média dos valores de altura dominante (H_{dom}) que foram mensurados ao longo dos anos. Adotou-se 15 anos como idade

índice, ou seja, os valores de H_{dom} que ocorrem nessa idade representam o sítio florestal.

4.4 ESTRATÉGIA DE CUBAGEM

Para obtenção de volumes totais e parciais, utilizou-se o método de cubagem destrutiva de *Hohenadl*, onde o fuste é dividido em variadas seções, que representam um percentual da altura total. Neste estudo, 15 seções ao longo do fuste foram coletadas, 0,5; 1,0; 5,0; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 e 95%. Cita-se o exemplo para uma árvore com 20 m de altura, as seções com 0,1; 0,2; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18 e 19 m seriam mensuradas. Assim, as alturas a serem mensuradas ao longo do fuste são relativas à altura total de cada árvore, variando de acordo com o seu valor previamente medido.

O critério utilizado para seleção das árvores foi o de proporcionalidade à distribuição diamétrica. Nesse critério, classes de diâmetros com a maior concentração de árvores recebem um maior número de árvores amostradas. David et al. (2016) avaliou diferentes critérios de amostragem de fustes para medição, obtendo melhores performances para amostragens com proporção a frequência diamétrica, obedecendo o critério de amostrar no mínimo duas árvores por classe.

Para esta pesquisa, 130 árvores foram selecionadas, distribuídas de forma ponderada em função da área estrato, resultando assim em um total de 18 estratos definidos de acordo com o sítio, classe de idade e espaçamento.

As 4 classes de idade foram separadas por um intervalo de 2,5 anos até a idade de onze anos e meio, assim para a classe i_1 , tem-se plantios de 5 a 7,5 anos, i_2 de 7,6 a 9,0 anos, i_3 de 9,1 a 11,5 anos e i_4 , contabilizando-se plantios acima de 11,5 anos.

Cada estrato recebeu, no mínimo, 5 árvores cubadas, independentemente de sua área. A distribuição ocorreu desta forma, visando captar todas as variações existentes entre as diferentes classes produtivas, densidade e idade da floresta. A seguir, pode ser visualizada na Tabela 2 a densidade de árvores (fustes por hectares) por classe de sítio florestal, idade e espaçamento.

TABELA 2: CLASSES DE CUBAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA, DENSIDADE E IDADE PARA O SÍTIO FLORESTAL 1.

Classe de dap (cm)	S1-i1	S1-i2	S1-i3	S1-i3	S1-i4	S1-i4
	2,5 X 2,5	2,5 X 2,5	2,5 X 2,5	2,5 X 2,0	2,5 X 2,0	2,5 X 2,5
(0-5)	2	1	1	0	0	0
[5-10)	43	32	15	17	3	0
[10-15)	227	167	105	196	58	44
[15-20)	661	598	430	566	304	224
[20-25)	338	565	566	645	517	477
[25-30)	33	107	248	217	362	339
[30-35)	2	2	29	34	96	110
[35-40)	0	0	1	0	10	13
[40-45)	0	0	0	0	2	0
Área%	1,4%	2,9%	6,7%	4,3%	9,3%	1,6%
Nº CUBADAS	6	7	8	7	8	7

No total, 43 árvores foram designadas a serem cubadas no primeiro bloco, sítio 01. Mesmo em estratos com área reduzida, o número de árvores cubadas foi superior ou igual ao número de classes diamétricas, como o S1-I1 (2,5 x 2,5 m), apresentou 6 classes distintas e recebeu pelo menos uma árvore por classe. Não foram cubadas árvores com diâmetro inferior à 5 cm, uma vez que não apresenta volume comercial.

Para o sítio 2, 56 árvores foram selecionadas, sendo representado pela capacidade produtiva média, sendo o sítio mais abrangente na área de estudo. Na Tabela 3 pode ser visualizada a distribuição de árvores cubadas.

TABELA 3: CLASSES DE CUBAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA, DENSIDADE E IDADE PARA O SÍTIO FLORESTAL 2.

Classe de dap (cm)	S2-i1	S2-i2	S2-i3	S2-i3	S2-i4	S2-i4
	2,5 X 2,5	2,5 X 2,5	2,5 X 2,5	2,5 X 2	2,5 X 2	2,5 X 2,5
(0-5)	9	2	2	1	1	0
[5-10)	77	36	32	31	9	5
[10-15)	558	240	150	264	90	70
[15-20)	737	810	487	631	379	203
[20-25)	64	393	526	571	559	360
[25-30)	0	25	140	154	288	368
[30-35)	0	0	9	11	60	90
[35-40)	0	0	1	1	7	13
[40-45)	0	0	0	0	0	0
Área%	20,1%	21,6%	16,3%	4,5%	9,4%	0,6%
Nº CUBADAS	7	10	10	11	10	8

São apresentadas também as densidades calculadas para o sítio 3 (Tabela 4), estrato com menor proporção de área, sendo cubadas 31 árvores.

TABELA 4: CLASSES DE CUBAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA, DENSIDADE E IDADE PARA O SÍTIO FLORESTAL 3.

CLASSE	S3-i1	S3-i2	S3-i3	S3-i3	S3-i4	S3-i4
	2,5 X 2,5	2,5 X 2,5	2,5 X 2,5	2,5 X 2	2,5 X 2,5	2,5 X 2
(0-5)	13	8	0	0	0	0
[5-10)	181	33	50	25	0	0
[10-15)	1.179	434	200	175	50	38
[15-20)	206	592	475	325	325	125
[20-25)	0	200	450	325	525	438
[25-30)	0	50	150	50	250	375
[30-35)	0	17	0	50	25	100
[35-40)	0	0	0	0	0	38
[40-45)	0	0	0	0	0	13
Área%	0,5%	0,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%
Nº CUBADAS	5	6	5	7	0	8

Conforme definido na estratégia de cubagem, 130 árvores foram selecionadas e distribuídas de forma ponderada nos variados estratos da floresta, tendo como finalidade representar de forma apropriada todas as variações existentes. Na Tabela 5 estão apresentados os dados de coleta, indicando o número árvores abatidas e mensuradas de acordo com cada estrato.

TABELA 5: NÚMERO DE ÁRVORES CUBADAS DE *PINUS TAEDA L.*, DE ACORDO COM O SÍTIO, ESPAÇAMENTO E IDADE.

Classe de dap	Sítio I (23,8m)						Sítio II (20,4m)						Sítio III (17m)						subtotal		
	2,5 X 2,5		2,5 X 2,0		2,5 X 2,5		2,5 X 2,5		2,5 X 2,0		2,5 X 2,5		2,5 X 2,5		2,5 X 2,0		2,5 X 2,5			2,5 X 2	
	i1	i2	i3	i3	i4	i4	i1	i2	i3	i3	i4	i4	i1	i2	i3	i3	i4	i4		i4	
(5-10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
[10-15)	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	0	2	0	1	1	21	
[15-20)	3	2	2	2	1	1	2	3	3	3	3	2	2	2	1	2	0	1	1	35	
[20-25)	2	1	2	2	2	2	2	3	1	2	3	2	0	1	2	2	0	2	2	31	
[25-30)	0	1	2	2	3	1	1	3	4	3	2	2	0	2	1	1	0	2	2	30	
[30-35)	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	9	
[35-40)	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3	
Total	7	6	8	7	8	7	7	10	10	11	10	8	5	6	5	7	0	8	8	130	

A seguir, pode-se visualizar na Tabela 6 os volumes médios individuais e fatores de forma por classe de diâmetro e altura.

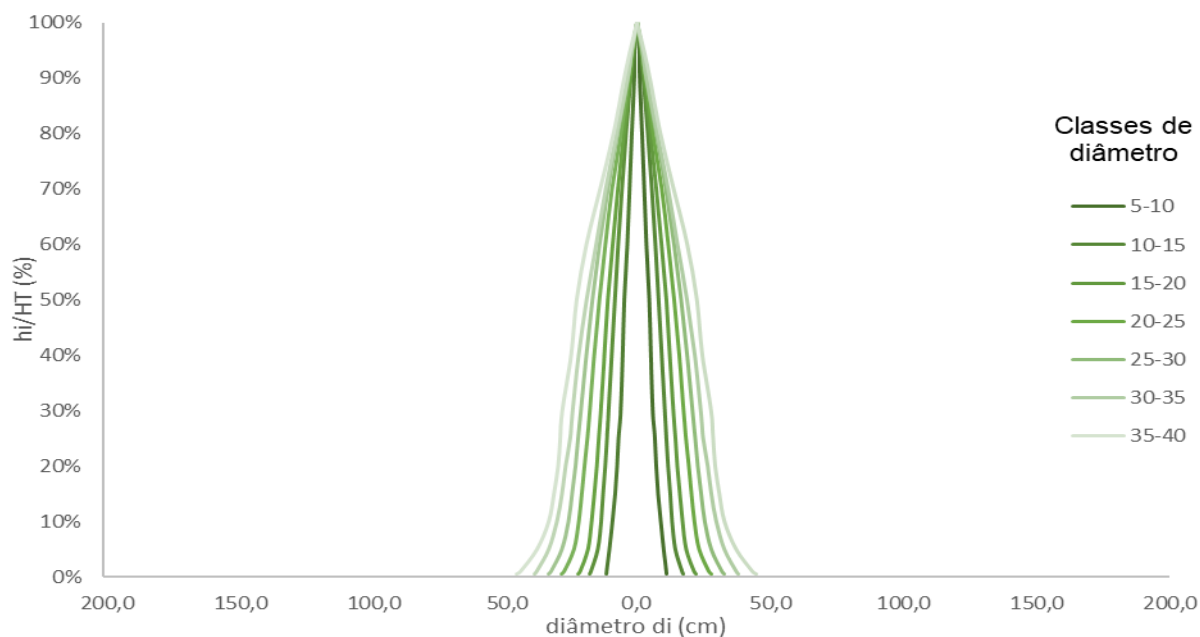
TABELA 6: VOLUME MÉDIO CALCULADO (m³) E FATOR DE FORMA POR CLASSE DE DIÂMETRO E ALTURA.

Classe de DAP	VMI (m ³)				Fator de forma			
	Classe HT							
	5-10	10-15	15-20	20-25	5-10	10-15	15-20	20-25
(5-10)	0,014				0,550			
[10-15)	0,060	0,082	0,104		0,589	0,481	0,453	
[15-20)	0,062	0,133	0,184	0,240	0,376	0,440	0,453	0,438
[20-25)	0,149	0,229	0,303	0,363	0,419	0,435	0,458	0,437
[25-30)		0,306	0,419	0,515		0,428	0,415	0,431
[30-35)			0,524	0,732			0,366	0,416
[35-40)				0,920				0,389

Por meio dos valores de volume calculado, verifica-se que as árvores de menor porte apresentam valores de fator de forma mais alto, atingindo valores de até 0,589 (FF) para aquelas que ocorrem nas classes 10-15 cm de diâmetro e 5-10 m de altura, reduzindo o fator de forma conforme o aumento em valores de diâmetros e altura. Assim, o fator de forma apresentou menores valores nas árvores de maior porte, sendo que o ponto de crescimento máximo em altura ocorre mais cedo em árvores dominadas. Outro aspecto que corrobora para esta condição são os próprios limites de crescimento em altura, uma vez que uma árvore de *Pinus* atinge, em média, 23 m aos 15 anos de idade (Tabela 7), enquanto, as árvores de maior porte, podem apresentar diâmetros acima de 39 cm, se assemelhando mais com a forma de um cone.

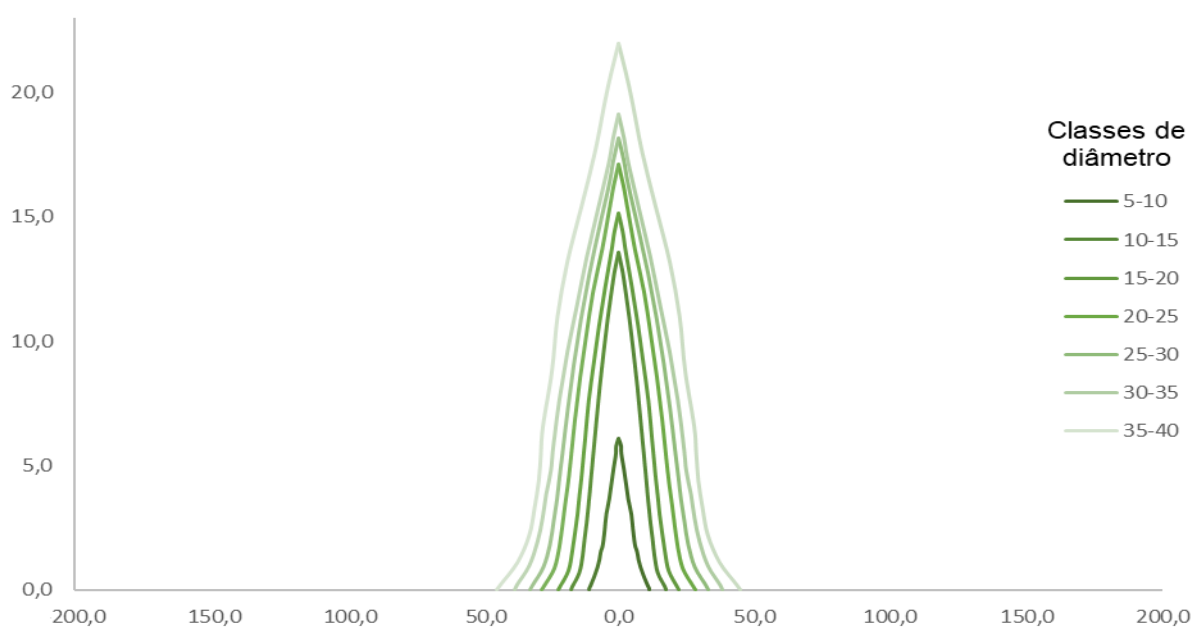
A variação de diâmetro ao longo do fuste pode ser visualizada graficamente, conforme representado na Figura 1 a seguir.

FIGURA 1: VARIAÇÃO DE DIÂMETRO OBSERVADO MÉDIO AO LONGO DO FUSTE, EM RELAÇÃO A ALTURA RELATIVA (%) POR CLASSE DE DIÂMETRO



A variação é expressa de acordo com os percentuais de altura (h_i/HT) e com as classes diamétricas. A tendência de decréscimo do diâmetro em função da altura absoluta pode ser observada no próximo gráfico (Figura 2).

FIGURA 2: VARIAÇÃO DE DIÂMETRO OBSERVADO MÉDIO AO LONGO DO FUSTE, EM RELAÇÃO A ALTURA ABSOLUTA (CM) POR CLASSE DE DIÂMETRO.



4.5 FUNÇÃO DE AFILAMENTO

Para obtenção do volume total e comercial de cada árvore, utilizou-se o modelo de *Schöpfer* (1966), conhecido comumente como polinômio de quinto grau. O modelo é descrito a seguir:

$$\frac{d_i}{dap} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{h}\right)^5 + \varepsilon$$

Modelo 1: *Schöpfer* (1966)

Onde: d_i = diâmetro (cm) na altura h_i (m); h_i = altura (m) em diferentes posições ao longo do fuste; dap = diâmetro (cm) a 1,30 m do solo; β_i : parâmetros do modelo; e ε : erro aleatório.

Neste estudo, duas técnicas distintas foram empregadas para o ajuste do modelo de *Schöpfer*, sendo a primeira o ajuste convencional do modelo realizado por análise de regressão linear, estimado pelos mínimos quadrados ordinários (MQO). E a segunda, por meio da predição dos parâmetros, onde a variável dependente objetivo são os próprios parâmetros do modelo (β_i).

4.5.1 Ajuste convencional do modelo de *Schöpfer*

Para o ajuste convencional, dividiu-se o banco de dados de árvores cubadas em 4 grupos, diferenciados pela classe de idade, conforme apresentado anteriormente (5-7,5 anos; 7,6-9,0 anos; 9,1-11,5 anos; superior a 11,5 anos). O agrupamento por idade tem finalidade de avaliar a variação da forma do fuste ao longo dos anos e como o crescimento influencia na forma do fuste e nos coeficientes da equação.

Os ajustes resultaram em quatro equações distintas, onde as estatísticas foram avaliadas de forma independente por ajuste, indicando o nível de confiabilidade e erros da estimativa. Além das estatísticas, as variáveis estimadas foram também avaliadas, como diâmetro ao longo do fuste, volume comercial e total médio (m^3) e o sortimento resultante. Estas variáveis são avaliadas por meio dos valores resultantes e por gráficos de dispersão.

4.5.2 Ajuste do modelo de Schöpfer pela predição dos parâmetros

Para obtenção da equação por meio da técnica de predição dos parâmetros, a técnica aplicada no modelo de *Schöpfer* é derivada de métodos de classificação de sítio florestais. O método de predição dos parâmetros é principalmente utilizado para gerar curvas polimórficas disjuntas, utilizando dados de parcelas permanentes ou análise de tronco (CLUTTER et. al., 1983).

Apesar da técnica ser aplicada principalmente na construção de curvas de sítio florestais, a metodologia pode ser replicada para outras finalidades, como a obtenção dos estimadores do modelo de *Schöpfer*, uma vez que este método possibilita obter os coeficientes do modelo de forma indireta.

Primeiramente o ajuste das equações pelo método convencional foi necessário para, assim, obter os coeficientes que serviram como variáveis dependentes a serem estimadas na segunda etapa da técnica.

Desta forma, relacionou-se as árvores cubadas com as variáveis dendrométricas locais. A associação foi realizada por critério de distância euclidiana, adotando-se as informações da unidade amostral mais próxima à árvore em questão. As informações obtidas previamente por meio do inventário florestal foram associadas aos dados levantados durante o processo de cubagem e, assim, puderam servir como entrada para o modelo sugerido a seguir:

$$\beta n = \alpha_{ij} + \alpha_{ij}dap + \alpha_{ij}Ht + \alpha_{ij}1 - \left(\frac{g}{G}\right) \alpha_{ij}dg + \alpha_{ij}G + \alpha_{ij}N + \alpha_{ij}\frac{H_{dom}}{I} + \alpha_{ij}Ht_m + \varepsilon.$$

Modelo 2: (O autor).

Onde: β_n = Coeficiente estimado ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$); i = número de polinômios; j = número de variáveis do modelo; dap = diâmetro a altura do peito (cm); Ht = Altura total (m); dg = diâmetro quadrático médio (cm); g = área transversal (m²); G = Área basal (m²/ha); N = número de fustes vivos (N/ha); H_{dom} = Altura dominante (m); Ht_m = Altura média (m).

Aplicando o Modelo 2 na função de afilamento, pôde-se obter a expressão completa para estimativa da variável de interesse (di/dap) e, conseqüentemente, os volumes parciais ou totais por meio da integral da equação. A expressão completa pode ser observada a seguir.

$$\begin{aligned} \frac{di}{dap} = & \left(\alpha_{01}dap + \alpha_{02}ht + \alpha_{03}\left\{1 - \left[\frac{g}{G}\right]\right\} + \alpha_{04}dg + \alpha_{05}G + \alpha_{06}N + \alpha_{07}\frac{H_{dom}}{I} + \alpha_{08}Ht_m \right) + \left(\alpha_{11}dap + \right. \\ & \alpha_{12}ht + \alpha_{13}\left\{1 - \left[\frac{g}{G}\right]\right\} + \alpha_{14}dg + \alpha_{15}G + \alpha_{16}N + \alpha_{17}\frac{H_{dom}}{I} + \alpha_{18}Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht}\right)^1 + \left(\alpha_{21}dap + \alpha_{22}ht + \alpha_{23}\left\{1 - \right. \right. \\ & \left. \left. \left[\frac{g}{G}\right]\right\} + \alpha_{24}dg + \alpha_{25}G + \alpha_{26}N + \alpha_{27}\frac{H_{dom}}{I} + \alpha_{28}Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht}\right)^2 + \left(\alpha_{31}dap + \alpha_{32}ht + \alpha_{33}\left\{1 - \left[\frac{g}{G}\right]\right\} + \alpha_{34}dg + \right. \\ & \alpha_{35}G + \alpha_{36}N + \alpha_{37}\frac{H_{dom}}{I} + \alpha_{38}Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht}\right)^3 + \left(\alpha_{41}dap + \alpha_{42}ht + \alpha_{43}\left\{1 - \left[\frac{g}{G}\right]\right\} + \alpha_{44}dg + \alpha_{45}G + \alpha_{46}N + \right. \\ & \alpha_{47}\frac{H_{dom}}{I} + \alpha_{48}Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht}\right)^4 + \left(\alpha_{51}dap + \alpha_{52}ht + \alpha_{53}\left\{1 - \left[\frac{g}{G}\right]\right\} + \alpha_{54}dg + \alpha_{55}G + \alpha_{56}N + \alpha_{57}\frac{H_{dom}}{I} + \right. \\ & \left. \alpha_{58}Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht}\right)^5 + \varepsilon \end{aligned}$$

Modelo 2: (O autor). Onde: α_n = Coeficiente obtidos por meio da predição dos parâmetros.

Cada parâmetro foi estimado de forma independente, assim, para o polinômio de quinto grau, pelo menos seis ajustes foram necessários para estimar todos os estimadores da função. Quando os coeficientes foram calculados, estes puderam ser aplicados no modelo 2.

4.6 SORTIMENTO

Para obtenção dos valores de volumes por classe de sortimento, definiu-se 5 classes diferentes de sortimento, separados principalmente por dois grupos, sendo, o primeiro de madeira de processo ou destinada a papel e celulose, que compreende as classes de diâmetros de 8-14 ϕ (cm) com toras de 2,40 metros de comprimento e 14-18 ϕ (cm) com toras de 2,65 metros; e o segundo grupo, de madeira destinada a serraria, com 18-23 ϕ (cm), 23-33 ϕ (cm) e acima de 33 ϕ (cm).

Os grupos de processamento foram previamente definidos de acordo com a demanda por multiprodutos florestais no Planalto Norte Catarinense e com as premissas do inventário florestal contínuo.

4.7 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

Na Tabela 7 estão apresentadas as variáveis dendrométricas com referência as árvores cubadas e unidades amostrais, utilizadas para o ajuste do modelo de afilamento, é possível observar os valores mínimos, médios e máximos para cada variável de interesse, bem como as variações existentes para cada variável.

TABELA 7: VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS, MÉDIAS POPULACIONAIS E ESTATÍSTICAS POR VARIÁVEL.

Variável	Origem	Mínimo	Média	Máximo	Desv. Pad	CV%
dap (cm)	Cubagem	7,3	21,4	39,5	3,17	14,8
Ht (m)	Cubagem	6,1	16,2	23,2	3,85	23,7
dg (cm)	u.a	12,1	19,9	25,6	2,74	13,7
G (m ² /ha)	u.a	16,5	50,7	72,3	13,99	27,6
N (fustes)	u.a	951	1.454	1.926	221,58	15,2
Hdom (m)	u.a	7,6	16,3	21,8	3,95	24,2
Htm (m)	u.a	6,7	15,1	19,4	3,57	23,6

A nível de unidade amostral, os valores médios de dg (cm), H_{dom} (m), G (m²/ha) e densidade de fustes (N/ha) são apresentados na tabela a seguir (Tabela 8).

TABELA 8: VARIÁVEIS DENTROMÉTRICAS A NÍVEL DE UNIDADE AMOSTRAL.

u.a	Idade (anos)	DAP (cm)	Ht (m)	dg (cm)	G (m ² /ha)	N (fustes)	Hdom (m)	Htm (m)
26	5,2	16,7	10,0	15,8	27,5	1.401	10,4	9,3
24	5,2	18,8	10,6	15,8	30,0	1.526	10,3	9,2
25	5,3	12,9	7,4	12,1	16,5	1.426	7,6	6,7
27	6,4	19,5	10,9	17,1	31,4	1.376	10,7	10,0
28	6,4	16,9	9,3	17,8	31,6	1.276	11,2	10,4
1	8,2	20,2	13,1	16,7	35,0	1.601	11,6	11,1
9	8,2	21,3	15,0	19,7	51,1	1.601	15,7	14,2
10	8,2	21,8	14,3	18,9	46,4	1.601	15,1	13,7
11	8,2	20,7	13,4	19,6	53,1	1.651	15,0	13,8
29	8,3	20,4	15,0	19,5	49,3	1.576	15,2	13,8
2	9,2	20,8	16,3	20,0	47,8	1.501	16,2	14,6
8	9,2	21,0	15,3	22,0	47,7	1.226	16,8	15,1
7	9,2	25,7	15,6	20,9	49,1	1.426	17,5	15,7
3	10,2	25,3	18,0	21,0	53,1	1.351	17,8	16,3
22	10,3	24,7	16,0	19,2	44,9	1.326	12,2	13,7
15	11,2	22,5	21,0	20,8	62,2	1.776	20,7	18,6
17	11,2	19,9	18,2	20,3	54,3	1.551	18,9	16,6
18	11,2	19,5	18,3	20,2	63,3	1.926	16,4	15,3
20	11,2	22,8	19,1	19,3	53,6	1.726	18,6	17,3
12	11,2	18,4	15,4	19,5	47,6	951	13,7	14,3
21	11,2	21,5	17,6	19,1	48,7	1.601	18,4	16,7
19	12,2	27,4	19,2	22,9	61,9	1.426	20,2	18,6
16	12,2	22,4	20,2	22,7	67,6	1.301	20,2	19,1
13	13,2	24,2	20,5	21,8	66,3	1.701	21,2	19,4
14	13,2	26,1	20,5	20,9	61,0	1.601	21,8	19,4
23	14,2	25,2	21,1	25,6	72,3	1.101	19,9	19,1
4	14,2	23,0	20,4	22,5	59,8	1.351	20,1	18,4
5	14,2	19,2	19,2	23,0	66,7	1.151	20,7	19,1
6	15,3	22,6	19,2	23,3	70,4	1.126	19,5	18,9

Verifica-se incremento positivo da área basal em função da idade, característica de plantios conduzidos sem o manejo por desbaste. Valores de 16,5 m²/ha foram observados nos plantios mais jovens, podendo atingir até 72,3 m²/ha com idade superior a quinze anos.

Em termos de diâmetro e altura dominante, é possível observar alta proporcionalidade entre as duas variáveis, à medida que há incremento em diâmetro (cm) a altura das árvores (m) cresce de maneira proporcional. Valores médios de 12,1 a 25,6 cm para a variável dg foram observados, enquanto para a altura a variação foi de 16,3 a 21,8 m.

Lambert (2018), ajustou modelos de crescimento de *Pinus taeda L.* na região serrana de Santa Catarina, onde observou-se uma estagnação do crescimento em diâmetro a partir do 10º ano de plantio, apresentando valores médios de 20,0 cm de diâmetro na idade referida. O mesmo autor, apresentou curvas de desenvolvimento em altura para a espécie, havendo decréscimo significativo no crescimento a partir do 14º ano de plantio, onde eram observados valores médios de 20,7 m de altura na idade referida. A mesma tendência é observada a partir da Tabela 7, em termos de crescimento e valores observadas em cada variável.

Um estudo de cubagem conduzido por Téo (2022), no Meio Oeste de Santa Catarina, apresentou valores de diâmetro e altura compatíveis com as observadas na Tabela 7, apresentando a mesma tendência de crescimento em função da idade, a densidade média observada pelo autor foi de 1.484 fustes, podendo atingir 2.220 em locais mais densos. A densidade média para as u.a deste estudo é de 1.454 fustes por hectare, porém densidades mais baixas foram observadas, como 951 e outras podendo atingir até 1.926 fustes vivos por hectare.

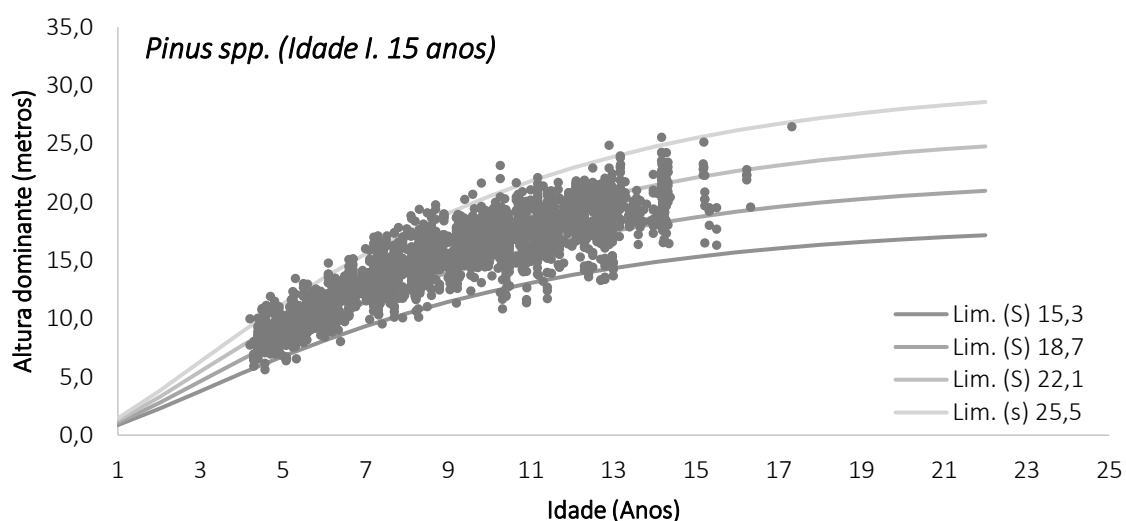
As variações existentes foram fundamentais para caracterizar as condições locais da floresta, permitindo, assim, associar essas diferenças à forma do fuste e estabelecer uma relação estatística que explique estas variações de forma apropriada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CLASSIFICAÇÃO DO SÍTIO FLORESTAL

Após a análise da dispersão das alturas dominantes, definiu-se 15,3 metros como limite inferior do sítio florestal (SIII) e 25,5 metros como limite superior (SI), representando a classe menos produtiva e a com maior produtividade, respectivamente. Em consonância com a metodologia de cubagem, estabeleceu-se três classes de sítio florestal, desta forma, a amplitude entre cada sítio é de 3,40 metros, conforme observado na Figura 3.

FIGURA 3: DISTRIBUIÇÃO DAS ALTURAS DOMINANTES OBSERVADAS SOB AS CURVAS DE LIMITE DE SÍTIOS GERADAS PELA CURVA GUIA PARA *PINUS TAEDA* L. NA REGIÃO DO PLANALTO NORTE CATARINENSE.



Além da representação gráfica, é apresentado a tabela de classes de sítio florestal, apresentando os valores estimados por idade, conforme a Tabela 9.

TABELA 9: CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO FLORESTAL GERADAS PELA CURVA GUIA PARA *PINUS TAEDA L.* NA REGIÃO DO PLANALTO NORTE CATARINENSE.

Idade	Sítio III	17	Sítio II	20,45	Sítio I	23,81
	15,3	18,7	18,8	22,1	22,11	25,5
1	0,87	1,06	1,07	1,25	1,25	1,45
2	2,26	2,76	2,78	3,27	3,27	3,77
3	3,79	4,63	4,66	5,48	5,48	6,32
4	5,32	6,50	6,53	7,68	7,68	8,86
5	6,77	8,27	8,32	9,78	9,78	11,28
6	8,12	9,92	9,97	11,72	11,73	13,53
7	9,34	11,42	11,48	13,49	13,50	15,57
8	10,45	12,77	12,83	15,09	15,09	17,41
9	11,43	13,97	14,04	16,51	16,52	19,05
10	12,30	15,04	15,12	17,77	17,78	20,50
11	13,07	15,97	16,06	18,88	18,89	21,78
12	13,75	16,80	16,89	19,85	19,86	22,91
13	14,34	17,52	17,62	20,71	20,72	23,89
14	14,85	18,15	18,25	21,45	21,46	24,75
15	15,30	18,70	18,80	22,10	22,11	25,50
16	15,69	19,18	19,28	22,66	22,67	26,15
17	16,03	19,59	19,70	23,15	23,16	26,71
18	16,32	19,95	20,06	23,58	23,59	27,20
19	16,58	20,26	20,37	23,94	23,96	27,63
20	16,80	20,53	20,64	24,26	24,27	28,00

As curvas foram geradas a partir do ajuste do modelo de Chapman e Richards, onde o ajuste apresentou um coeficiente de determinação de 0,828, indicando cerca de 82,3% de explicação da variável dependente por meio da análise de regressão e assim obtendo um erro médio de 10,76%, conforme apresentado na Tabela 10.

TABELA 10: COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DA REGRESSÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS DE *PINUS TAEDA L.*

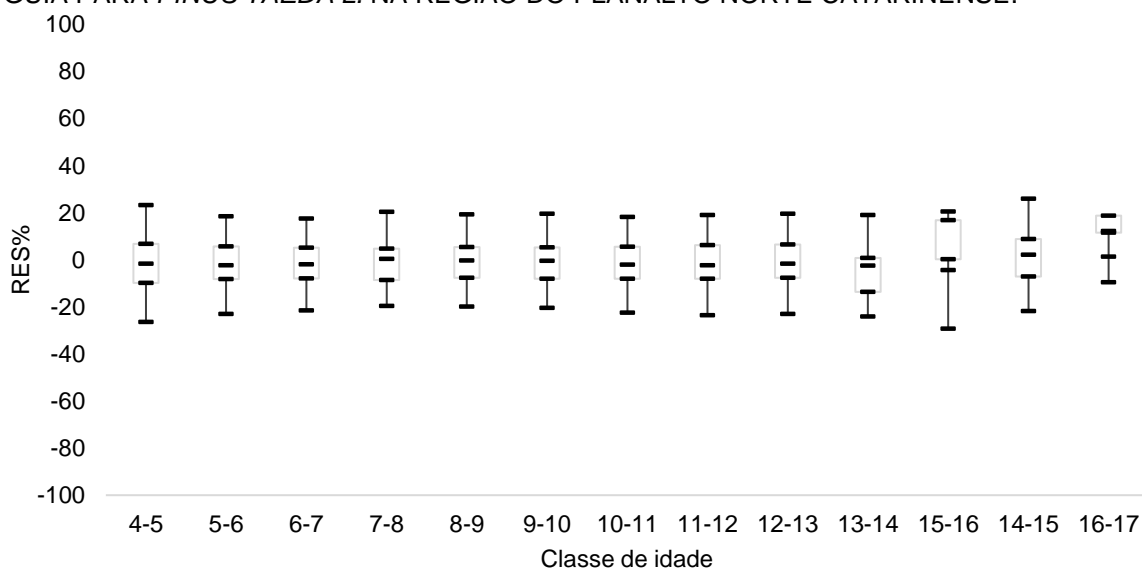
Coeficientes			Estatísticas		
β_0	β_1	β_2	R ² aj	Syx	Syx%
24,652	0,150	1,542	0,828	1,597	10,765

Schuchovski *et al.* (2019) ao avaliar modelos de classificação de sítio para a mesma região, concluiu que o modelo de Chapman-Richards foi o mais apropriado, obtendo um coeficiente de determinação ajustado de 0,88 e erro relativo de 12,74%. Os mesmos autores encontraram alturas dominantes variando de 14,0m a 27,0m na idade índice de 15 anos.

Nascimento *et. al* (2015) ao avaliar seis modelos distintos para classificação de sítio florestal no norte de Santa Catarina, concluiu que os modelos de Silva-Bailey e Chapman-Richards foram os que melhor expressaram a capacidade produtiva. Os mesmos autores identificaram alturas dominantes variando de 20,0 a 26,0m na idade índice de 17 anos.

Na sequência é apresentado o gráfico de dispersão de resíduos (Figura 4), onde é possível verificar que os desvios variam em média de -25 a 25%, não havendo desvios significativos em relação a variável estimada.

FIGURA 4: DISPERSÃO DE RESÍDUOS PARA AS CURVAS DE SÍTIOS GERADAS PELA CURVA GUIA PARA *PINUS TAEDA L.* NA REGIÃO DO PLANALTO NORTE CATARINENSE.



5.2 AJUSTE DA FUNÇÃO DE AFILAMENTO PELO MÉTODO CONVENCIONAL

Para o ajuste da função de afilamento pelo método tradicional, estratificou-se os dados em quatro grupos, separados pelo intervalo de 2,5 anos, com idade inicial de 6 e final de 16 anos. Serpe, *et al.* (2019) avaliou diferentes tipos de estratificação para ajuste do modelo de Schöpfer em um conjunto de dados de *Pinus taeda L.* provenientes de um reflorestamento do Oeste de Santa Catarina. O autor comparou ajustes por classes de idade (3 em 3 anos), blocos regionais e conjunto total de dados, e conclui que a estratificação por idade se revelou mais apropriada de acordo com as estatísticas resultantes.

A seguir são apresentados os coeficientes dos ajustes, bem como as estatísticas por cada classe de idade (Tabela 11).

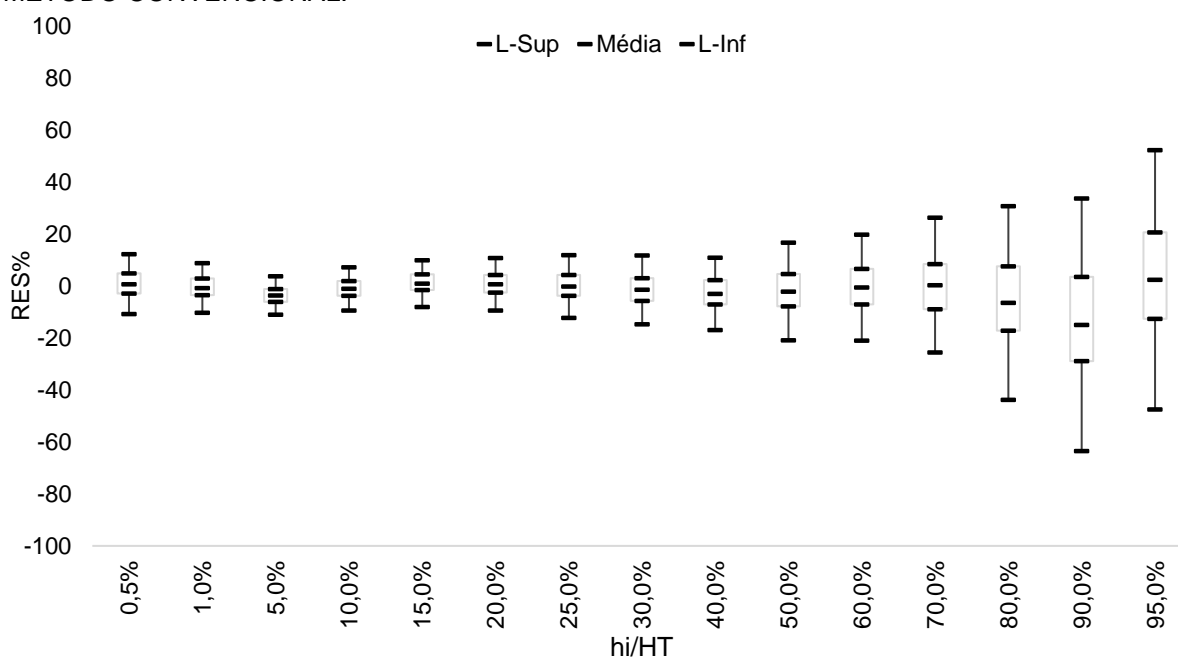
TABELA 11: COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER.

Classe de Idade (anos)	Coeficientes						Estatísticas	
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ² aj	Syx%
4,0-6,5	1,3854	-4,3618	16,4669	-36,6858	36,4429	-13,2541	0,933	14,429
6,5-9,0	1,2557	-3,7425	14,4771	-31,0693	29,3575	-10,2944	0,983	6,430
9,0-11,5	1,2705	-4,4956	18,2627	-38,5424	36,1875	-12,7169	0,974	7,962
11,5+	1,2248	-4,1495	16,3383	-33,8219	31,7013	-11,3327	0,977	7,136

Por meio das estatísticas, é possível concluir que os ajustes foram precisos para todas as classes de idade. Estatísticas semelhantes foram observadas por Kohler et. al. (2013), ao ajustar o polinômio de quinto grau para uma população de *Pinus taeda L.* com idades entre 7 e 23 anos, na região serrana de Santa Catarina. Os mesmos autores concluem que o modelo possui tendência de subestimar diâmetros na porção superior do tronco e que há uma maior amplitude de resíduos para estas porções.

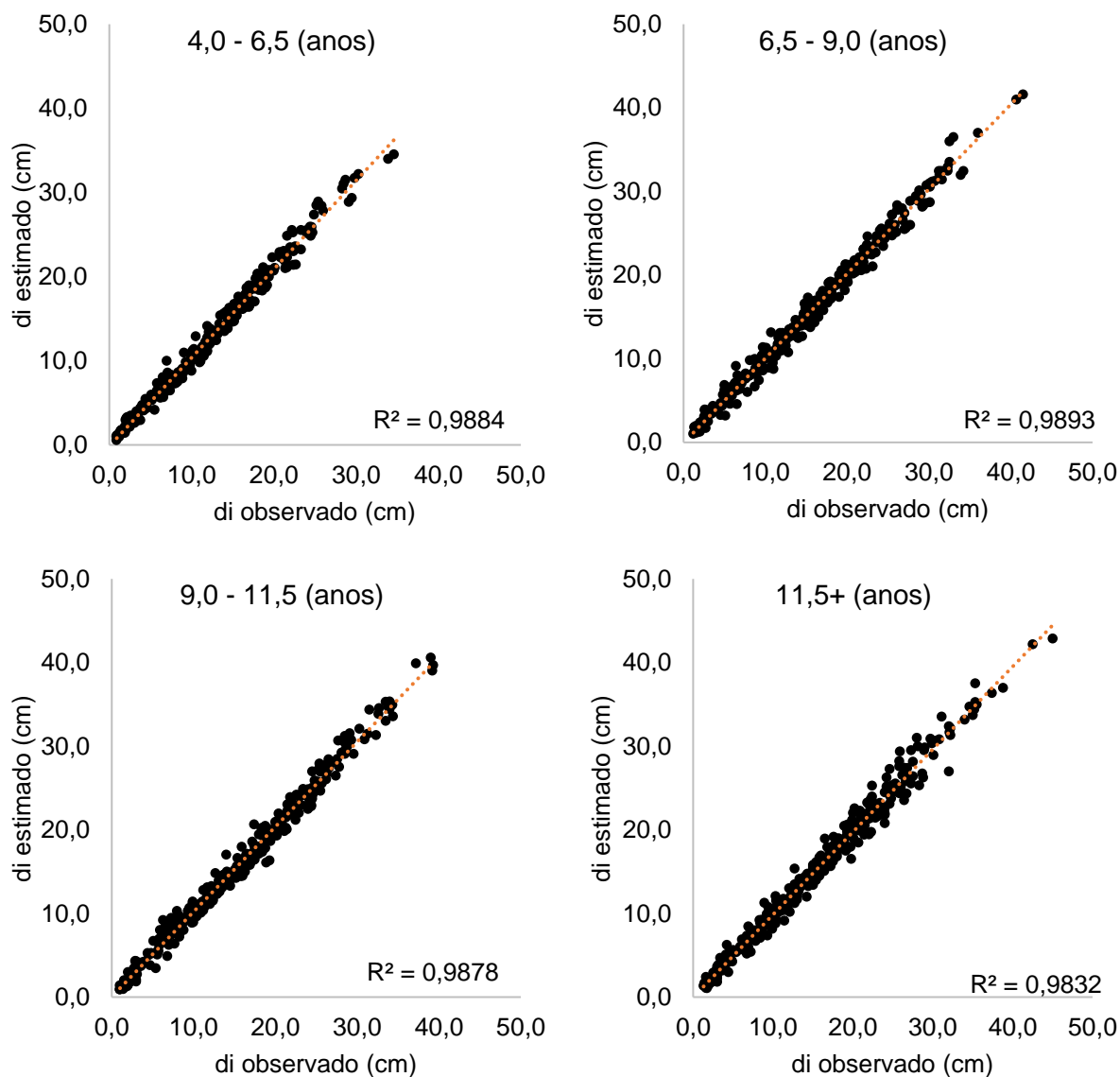
Para os ajustes do estudo, uma maior amplitude de resíduos para porções superiores também foi observada, aumentando consideravelmente após a altura relativa de 70%, porém é importante enfatizar que quanto maior a altura menor é o diâmetro, ou seja, os desvios percentuais representam um maior desvio absoluto de diâmetro (cm) para porções próximas à base da árvore, além de que, alturas acima de 70% pouco influenciam no volume comercial (Figura 5).

FIGURA 5: DISPERSÃO DE RESÍDUOS (di/dap) DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER PELO MÉTODO CONVENCIONAL.



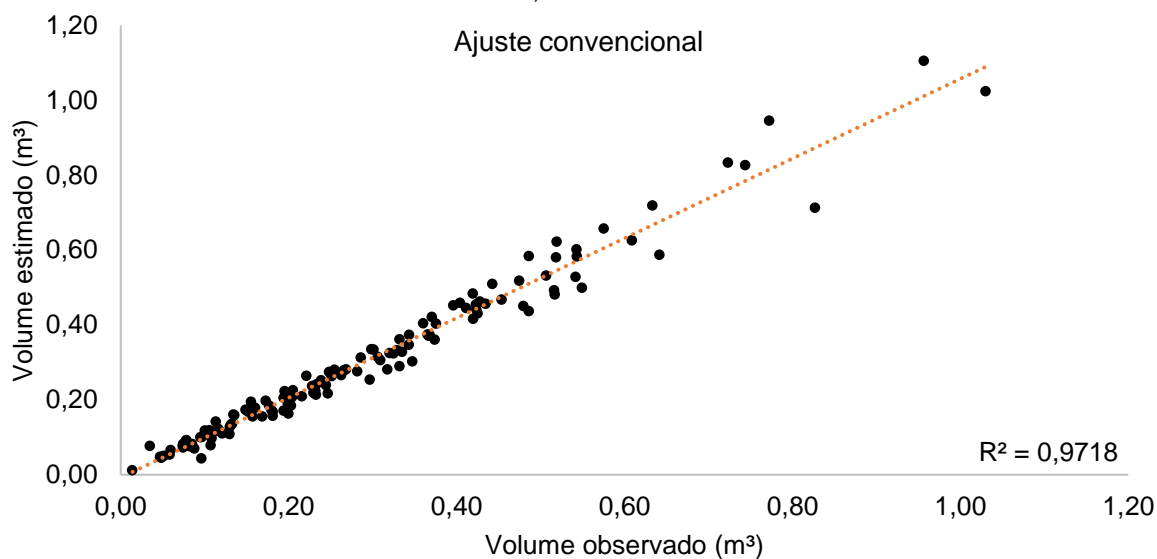
De forma complementar, os gráficos de diâmetros estimados e observados estão apresentados na Figura 6.

FIGURA 6: DISPERSÃO DE RESÍDUOS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER PARA DIFERENTES CLASSES DE IDADE DE *PINUS TAEDA L.*



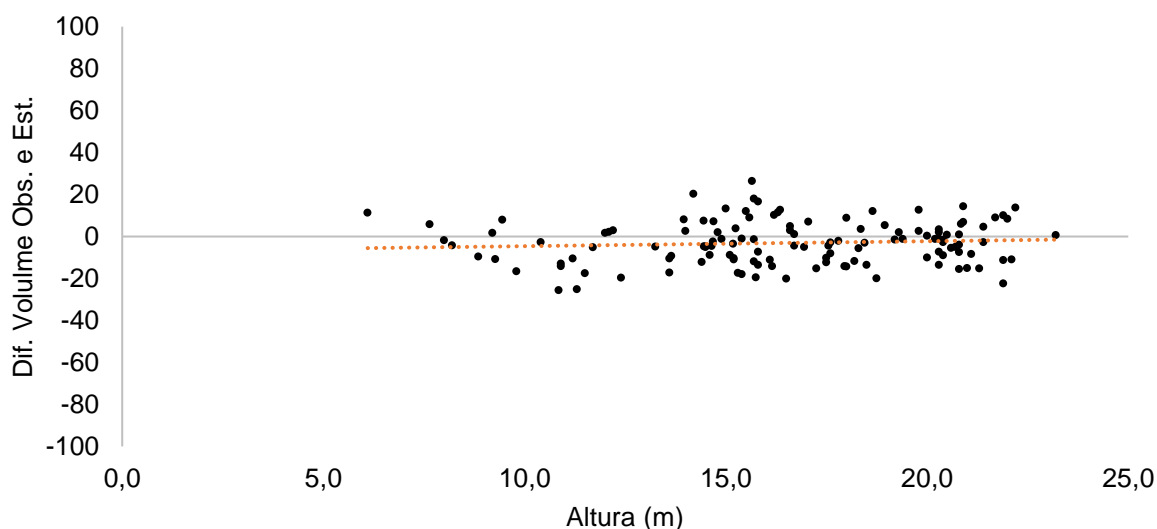
A partir da integral do polinômio de quinto grau, é possível calcular o volume com a equação ajustada. Verifica-se a partir da Figura 7 que os valores estimados seguem a tendência do volume calculado pela fórmula de *Smalian*, conforme representado a seguir.

FIGURA 7: DISPERSÃO DE VOLUMES CALCULADOS PELA FÓRMULA DE SMALIAN E VOLUME ESTIMADOS PELO MODELO DE SCHÖPFER, AJUSTADO PELA TÉCNICA CONVENCIONAL



As diferenças existentes entre os valores observados e estimados de volume podem ser mais bem evidenciadas pelo cálculo percentual entre a diferença algébrica dos valores resultantes, como pode ser observado a seguir (Figura 8).

FIGURA 8: DIFERENÇA % DE VOLUMES CALCULADOS PELA FÓRMULA DE SMALIAN E VOLUME ESTIMADOS PELO MODELO DE SCHÖPFER, AJUSTADO PELA TÉCNICA CONVENCIONAL.



Na Figura 8 é possível observar que os resíduos estão distribuídos de maneira uniforme, variando no intervalo de -20 a 20% no erro percentual. Desta forma, é possível aferir que as equações são apropriadas para estimar diâmetros ao longo do fuste, tornando-as aptas para cálculo de sortimento, e que permitem estimar volumes totais ou parciais com precisão.

5.3 AJUSTE DA FUNÇÃO DE AFILAMENTO PELA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS

Na primeira etapa do ajuste por predição dos parâmetros, realizou-se um ajuste por cada unidade amostral, posteriormente os coeficientes do ajuste foram associados às árvores cubadas. O ajuste utiliza como base a função de afilamento, onde para cada equação são obtidos 6 coeficientes, que servirão nas etapas subsequentes como variáveis dependentes. Na sequência, uma tabela contendo os coeficientes obtidos em cada ajuste por unidade amostral é apresentada, bem como suas estatísticas de avaliação (Tabela 12).

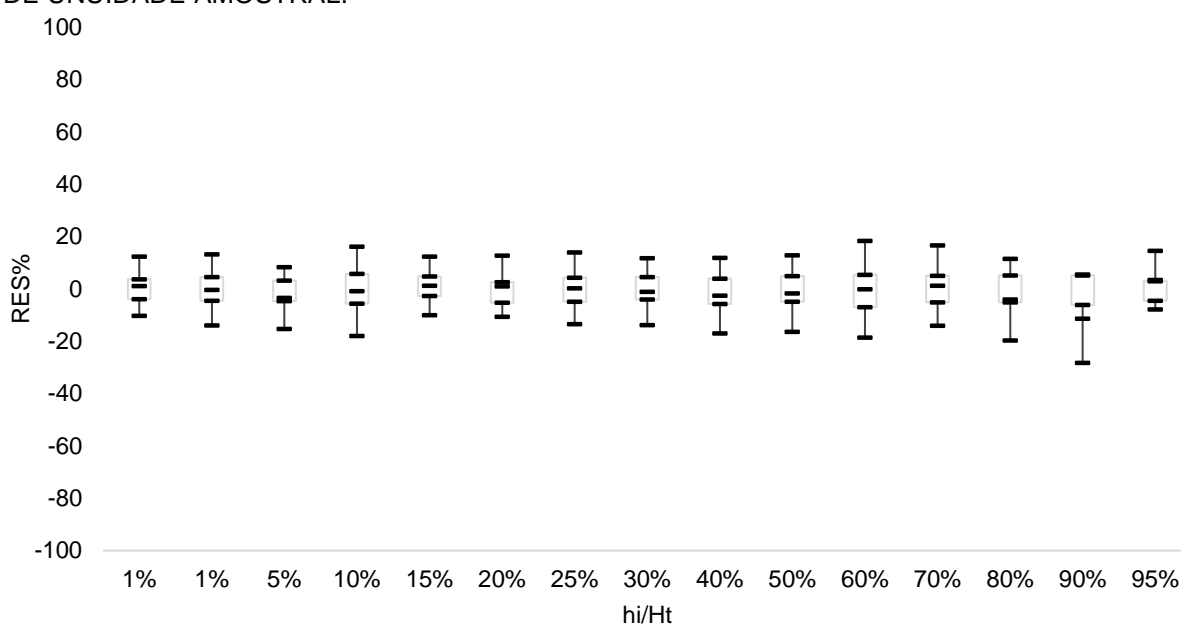
TABELA 12: COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER A NÍVEL DE UNIDADE AMOSTRAL.

Unidade Amostr	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ² aj	Syx%
1	1,2625	-3,9654	15,8975	-34,4148	32,4319	-11,2198	0,99	4,24
2	1,3454	-5,3385	22,5716	-48,8013	46,9955	-16,8030	0,97	8,81
3	1,2405	-3,9536	14,6256	-27,7104	22,1776	-6,3613	0,99	5,84
4	1,2688	-4,4203	18,7928	-40,6122	39,1834	-14,2509	0,99	5,50
5	1,2479	-4,1149	15,7846	-33,0045	32,3153	-12,3235	0,98	6,73
6	1,1933	-3,3282	10,2788	-17,8681	13,9980	-4,2853	0,96	9,40
7	1,2206	-3,8368	16,5915	-38,1119	37,9540	-13,8821	0,99	5,00
8	1,2064	-3,4103	11,9468	-24,3766	22,6052	-7,9893	0,99	5,15
9	1,2687	-3,9409	15,8859	-33,9296	31,4422	-10,7357	0,98	7,36
10	1,2785	-4,2974	17,0340	-36,5461	34,7201	-12,1952	0,99	4,40
11	1,2645	-3,1374	8,9566	-15,6216	11,8770	-3,3249	0,99	5,25
12	1,3183	-5,1089	22,2764	-47,7786	45,5025	-16,2563	0,97	7,77
13	1,2365	-4,5383	18,3354	-38,5063	36,5313	-13,0880	0,98	6,67
14	1,2722	-5,1777	20,2296	-39,5983	35,2219	-11,9695	0,98	6,18
15	1,2055	-3,9267	15,7300	-32,7736	29,9737	-10,2247	0,99	4,82
16	1,2369	-4,7755	20,0954	-42,3959	39,9688	-14,1754	0,99	4,81
17	1,2959	-5,0204	19,5358	-39,6427	36,6343	-12,8454	0,97	9,36
18	1,2333	-3,5574	10,9484	-19,6341	16,2017	-5,1962	0,98	7,18
19	1,1655	-3,3364	12,4067	-25,9598	23,8727	-8,1583	0,99	6,01
20	1,2080	-3,4830	12,3746	-23,5854	19,7593	-6,2709	0,99	4,22
21	1,2982	-5,2267	22,6271	-49,2509	47,5790	-17,0703	0,97	8,40
22	1,2901	-4,6945	18,9060	-37,8935	32,7217	-10,3317	0,97	8,89
23	1,2123	-4,2447	18,0192	-38,6152	36,9750	-13,3964	0,99	5,28
24	1,2746	-3,2868	9,9226	-19,4713	17,1310	-5,5401	0,98	8,27
25	1,4308	-3,9845	13,0018	-26,7718	24,9440	-8,5921	0,77	28,70
26	1,3558	-4,3856	16,2735	-35,1238	34,2194	-12,3601	0,99	5,06
27	1,3364	-4,8155	21,4733	-51,4666	53,5375	-20,1118	0,99	5,91
28	1,3859	-4,8157	18,4186	-40,9559	40,5863	-14,6093	0,99	5,33
29	1,1979	-2,8719	9,7832	-20,3506	18,8904	-6,6620	0,97	9,04

Para as 130 árvores, há um total de 29 u.a relacionadas, sendo que as parcelas são correlatadas a diferentes árvores uma única parcela pode estar associada com até 6 árvores distintas, assim, como cada árvore tem 15 seções medidas, o número de observação por ajuste é dado pelo número de árvores multiplicado por quinze seções.

São apresentados os coeficientes de ajuste e suas respectivas estatísticas. As estatísticas indicam que a variável dependente pode ser explicada de forma apropriada, onde o coeficiente de determinação variou de 0,77 a 0,99, sendo que o valor médio é de 0,98. O erro padrão da estimativa médio é igual à 0,05 para a variável di/dap representando um erro percentual médio de 7,23% para os ajustes. São apresentados também os gráficos de resíduo unificados em um gráfico (Figura 9).

FIGURA 9: DISPERSÃO DE RESÍDUOS (di/dap) DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER A NÍVEL DE UNIDADE AMOSTRAL.



Após a obtenção dos coeficientes, esses passam a ser considerados variáveis dependentes no Modelo 1, e assim, são gerados novos estimadores para o modelo de Schöpfer. As variáveis dendrométricas são correlacionadas a cada parâmetro por meio da análise de regressão e o nível de correlação com cada variável é avaliada pelo p-valor ao nível de 95% de probabilidade. Coeficientes não significativos são removidos da equação (Tabela 13), removendo primeiramente os que apresentam menores valores de significância e refazendo o ajuste.

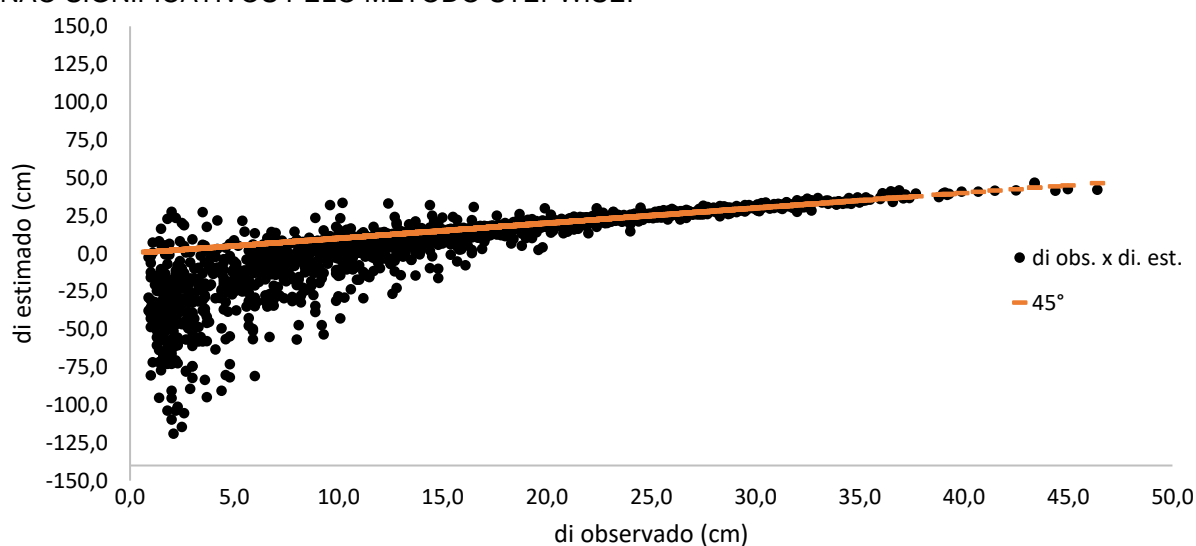
TABELA 13: COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS NO AJUSTE DO MODELO 1.

PARÂMETRO	DAP (cm)	Ht (m)	1-(g/G)	dg (cm)	G (m ² /ha)	N (fustes)	Hdom/Idade	Htm (m)
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8
β_0	-0,0009	0,0031	1,7799	-0,0207	-0,0013_{ns}	-0,0001	-0,0078_{ns}	0,0031_{ns}
β_1	0,0223	-0,1011	-4,6727	0,0256_{ns}	0,0874	0,0003_{ns}	0,5672	-0,2484
β_2	-0,1154	0,5832	11,0525	0,7163	-0,6237	-0,0011_{ns}	-3,5576	1,4169
β_3	0,5303	-1,8917	-14,988_{ns}	-3,2503	1,6462	0,0013_{ns}	3,8491_{ns}	-2,3543
β_4	-0,3437	1,4684	7,6699_{ns}	2,7055	-1,6203	-0,0014_{ns}	-4,2039_{ns}	2,9011
β_5	0,1743	-0,6785	-2,4854_{ns}	-1,0359	0,6391	0,0025	1,5428_{ns}	-1,3124

ns=Variáveis não utilizadas no ajuste.

As variáveis não significativas foram removidas do ajuste, uma vez que essas possuem baixa correlação com a variável a ser estimadas. Porém, como os ajustes são realizados de forma independente, um para cada parâmetro, ao compor o modelo final, unindo os coeficientes em uma só equação, são observadas inconsistências nos valores estimados de di/dap, conforme observado nas estatísticas de avaliação do modelo, onde o R^2_{aj} é igual à -6,89 e erro padrão de 142,79%. O coeficiente de determinação deve apresentar valores variando de 0 a 1, uma vez que o sinal do termo do numerador da equação do coeficiente de determinação assume valores positivos Gujarati e Porter (2011). Na Figura 10 é possível observar a incoerência nos valores estimados.

FIGURA 10: DI OBSERVADO EM RELAÇÃO AO ESTIMADO, REMOVENDO OS COEFICIENTES NÃO SIGNIFICATIVOS PELO MÉTODO STEPWISE.



Para estimar as variáveis de interesse, é necessário primeiramente estimar os coeficientes β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 e β_5 . Ao compilar as equações e obter os valores de Y_n , são observadas divergências significativas nos valores obtidos. Esse problema pode ser

resolvido mantendo o número de variáveis de entrada constantes em todas as seis equações, na prática, se a variável DAP permanece no ajuste de β_0 , esta deverá constar nas demais equações, sendo válido para as demais variáveis.

Ao aplicar essa correção no ajuste das equações, é possível aproximar os valores estimados dos observados, trazendo consistência ao ajuste. Desta forma, as variáveis N(fustes), e $H_{dom}(m)/I_{idade}(anos)$, foram removidas por completo e o ajuste foi realizado novamente. Foram mantidas aquelas variáveis que apresentaram coeficiente não significativo em apenas um ajuste (dg, G e H_{tm}) ou aquelas que apresentam alta significância, como é o caso da variável $(1-(g/G))$, que tem alta significância na estimativa de β_0 (p-valor < 0,001), ao excluir esta variável as estimativas perdem precisão considerável.

A variável “ $1-(g/G)$ ” é sugerida pelo autor como uma relação entre o espaço ocupado pela árvore e pelas demais árvores da população, podendo ser indicada/nomeada como *índice de ocupação*, apresentando o valor de área que “não foi ocupada” pela **árvore n** dentro de um hectare (área basal da população). É esperada alta correção com o parâmetro β_0 , uma vez que este prediz o grau de inclinação da variável a ser predita (d_i/d_{ap}).

A seguir, podem ser observados (Tabela 14) os coeficientes obtidos após a padronização das variáveis de entrada do modelo.

TABELA 14: COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS NO AJUSTE DO MODELO 01

PARÂMETRO	DAP (cm)	Ht (m)	1-(g/G)	dg (cm)	G (m ² /ha)	Htm (m)
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6
β_0	-0,0015	0,0033ns	1,4916	-0,0054	-0,0032	0,0019ns
β_1	0,0259	-0,1129	-3,4047	-0,0324ns	0,0839	-0,2075
β_2	-0,1465	0,7213	5,0727	0,7139	-0,5952	1,2376
β_3	0,3287	-1,5707	-3,7354ns	-2,3533	1,5356	-2,8512
β_4	-0,3459	1,4902	-1,8436ns	2,8597	-1,6510	2,9005
β_5	0,1402	-0,5326	2,5340ns	-1,1901	0,6320	-1,0870

0=Variáveis não utilizadas no ajuste; ns=Variável não significativa.

Após a remoção das variáveis N e H_{dom}/I e reajuste da equação sem remover as variáveis que não apresentaram significância no ajuste, os coeficientes foram aplicados no modelo e a equação avaliada novamente. O coeficiente de determinação resultante é de 0,967, indicando que a variação de d_i/d_{ap} pode ser explicada de forma apropriada, o erro percentual da estimativa é igual à 9,21%.

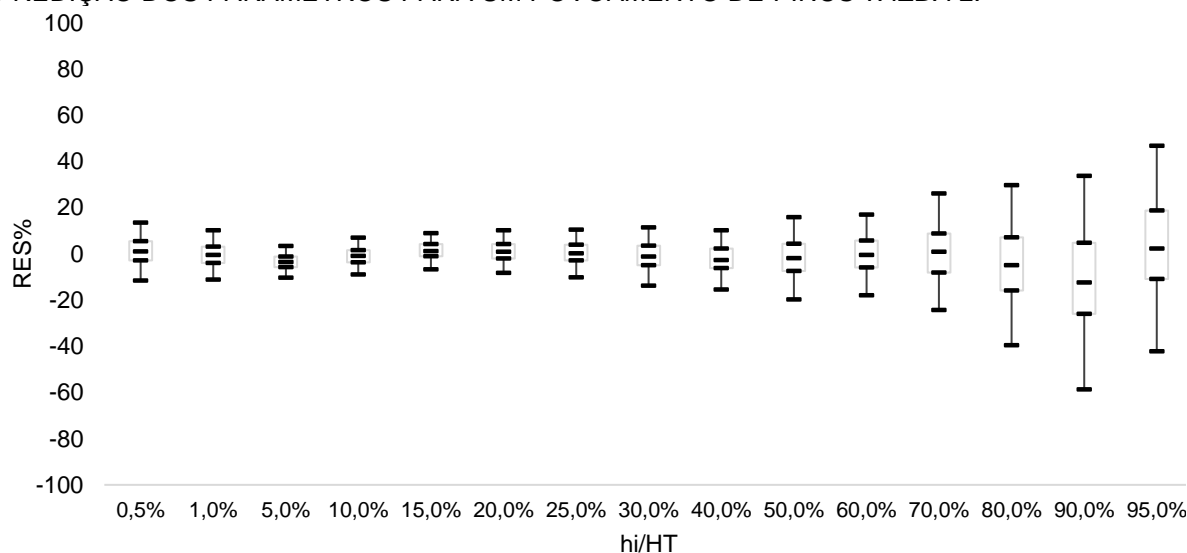
Uma vez que o ajuste pela técnica de predição dos parâmetros é validado, pode-se substituir os coeficientes obtidos, no modelo 2, representando a equação final obtida.

$$\begin{aligned} \frac{di}{dap} = & \left(-0,00152dap + 0,00328ht + 1,49162 \left\{ 1 - \left[\frac{g}{G} \right] \right\} - 0,00544dg - 0,00318G + 0,00188Ht_m \right) + \\ & \left(0,02586dap - 0,11286ht - 3,40466 \left\{ 1 - \left[\frac{g}{G} \right] \right\} - 0,03243dg + 0,08394G + -0,2075Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht} \right)^1 + \\ & \left(-0,14649dap + 0,72127ht + 5,0727 \left\{ 1 - \left[\frac{g}{G} \right] \right\} + 0,7139dg - 0,59525G + 1,23762Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht} \right)^2 + \\ & \left(0,32874dap - 1,57074ht - 3,73536 \left\{ 1 - \left[\frac{g}{G} \right] \right\} - 2,35335dg + 1,53563G - 2,85123Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht} \right)^3 + \\ & \left(-0,34591dap + 1,49018ht - 1,84364 \left\{ 1 - \left[\frac{g}{G} \right] \right\} + 2,8597dg - 1,65101G + 2,90049Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht} \right)^4 + \\ & \left(0,14021dap - 0,53257ht + 2,53403 \left\{ 1 - \left[\frac{g}{G} \right] \right\} - 1,19008dg + 0,63202G + -1,08697Ht_m \right) \left(\frac{hi}{ht} \right)^5 + \varepsilon \end{aligned}$$

$R^2_{ajt}=0,967$; $Syx=0,06$; $S_{yx\%}=9,21\%$ (Estatística calculada incluindo todas as classes de idade).

A seguir pode ser visualizado o gráfico (Figura 11) de dispersão de resíduos da estimativa.

FIGURA 11: DISPERSÃO DE RESÍDUOS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER POR PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS PARA UM POVOAMENTO DE *PINUS TAEDA L.*



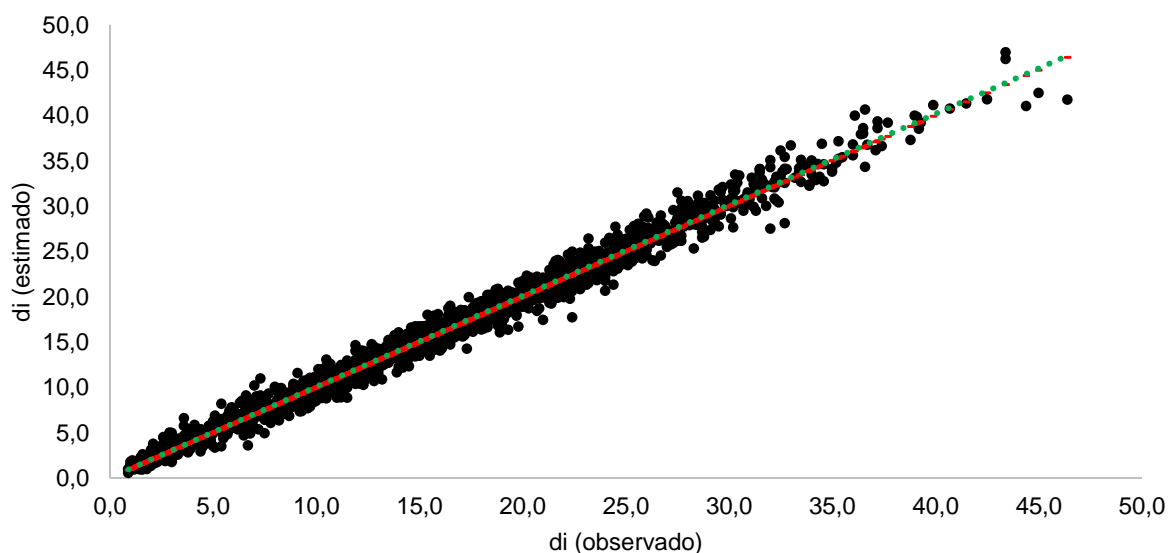
Verifica-se através da dispersão de resíduos, que as maiores diferenças nas estimativas são encontradas nos percentuais acima de 80%, representando as últimas posições de diâmetro da árvore. O diâmetro médio à altura relativa de 80% é igual à 5,8 cm, para um erro de 50% haveria apenas uma diferença de 2,9 cm para mais ou menos, ainda que, apenas diâmetros acima de 8 cm compõem o volume comercial e

devido ao diâmetro reduzido, pouco será acrescido ao volume total. Tais características também foram observados nos trabalhos conduzidos por Kohler et al. (2013) e Serpe, E. L. et al. (2019) em *Pinus taeda* L., Silva (2011) ao estudar afilamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e Rossi (2015) constatou a mesma tendência para esta espécie, Leite (2011) ao utilizar o polinômio de quinto grau para estimar o volume de *Eucalyptus urophylla*, constatou maior amplitude de resíduos para porções com menor diâmetro.

O mesmo padrão de dispersão de resíduos é observado na Figura 5, onde a função de afilamento é ajustada pelo método convencional. Assim, pode-se concluir que quanto maior a altura relativa (h_i/H_t), o erro da estimativa tende a aumentar, sendo uma tendência natural do modelo, pois o erro médio da estimativa terá maior efeito nas porções com menores diâmetro, apresentando maior erro relativo (d_i/s_{yx}) e menor erro absoluto (cm).

Em comparação com a Figura 10, verifica-se que após manter o número de variáveis de entrada constantes, os valores estimados passam a ter precisão, conforme representado na figura abaixo (Figura 12).

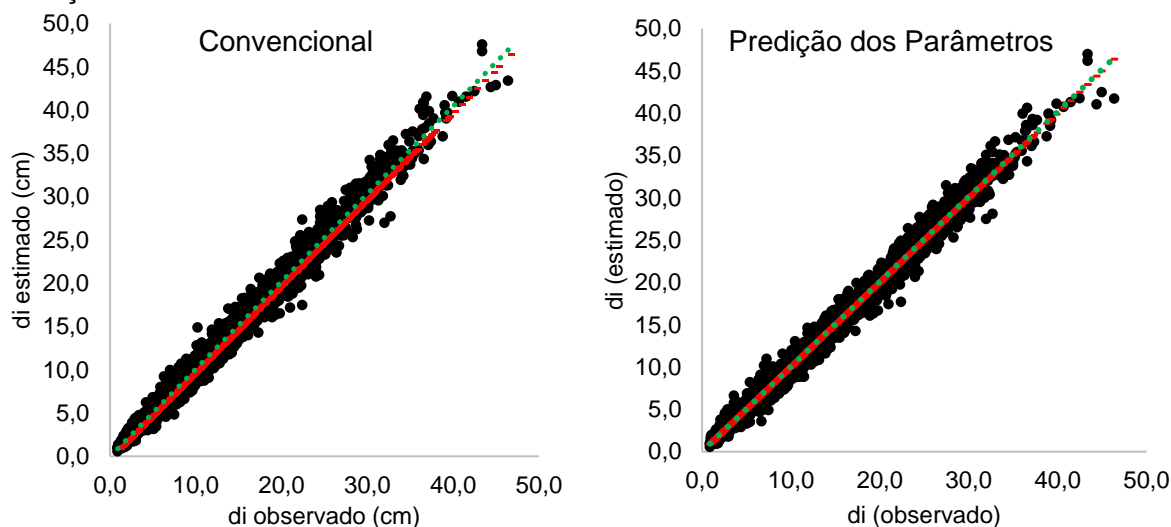
FIGURA 12: DI OBSERVADO EM RELAÇÃO AO ESTIMADO, REMOVENDO VARIÁVEIS COM BAIXA SIGNIFICÂNCIA.



Notas: Linha vermelha = Relação 1:1; Linha verde tendência média.

A fim de validar a precisão, compara-se a relação observada acima com a obtida no ajuste convencional, conforme pode ser observado (Figura 13).

FIGURA 13: DI/DAP OBSERVADO EM RELAÇÃO AO ESTIMADO, MÉTODO CONVENCIONAL X PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS.



Notas: Linha vermelha = Relação 1:1; Linha verde tendência média.

Em comparação ao método convencional, são apresentadas as estatísticas por classe de idade para a técnica de predição dos parâmetros. Como os coeficientes são estimados a nível de árvore, são apresentados os intervalos mínimos e máximos para cada coeficiente na Tabela 15. O resumo completo dos coeficientes pode ser observado no apêndice 1.

TABELA 15: INTERVALO MÍNIMO E MÁXIMO DOS COEFICIENTES DA ANÁLISE DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO MODELO DE SCHÖPFER OBTIDOS PELA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS.

Classe I.	Intervalo Coeficientes						Estatísticas	
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2_{ajt}	$S_{yx}\%$
4,0-6,5	1,3107 a	-4,2228 a	13,5621 a	-35,8326 a	27,4787 a	-12,593 a	0,983	7,362
	1,3437	-3,8088	16,3226	-29,0294	35,12	-9,5166		
6,5-9,0	1,3115 a	-4,4067 a	16,6342 a	-37,1892 a	33,0674 a	-12,0314 a	0,990	5,246
	1,3215	-4,2821	17,4646	-35,4579	34,7786	-11,3021		
9,0-11,5	1,2601 a	-4,8657 a	16,1722 a	-42,7568 a	33,0719 a	-14,3108 a	0,974	8,254
	1,3274	-4,1068	20,1728	-34,7326	40,3932	-11,6232		
11,5+	1,1834 a	-4,7377 a	9,5882 a	-43,4053 a	13,7513 a	-14,8434 a	0,961	9,854
	1,4142	-3,1897	20,4222	-17,1701	40,974	-4,1868		

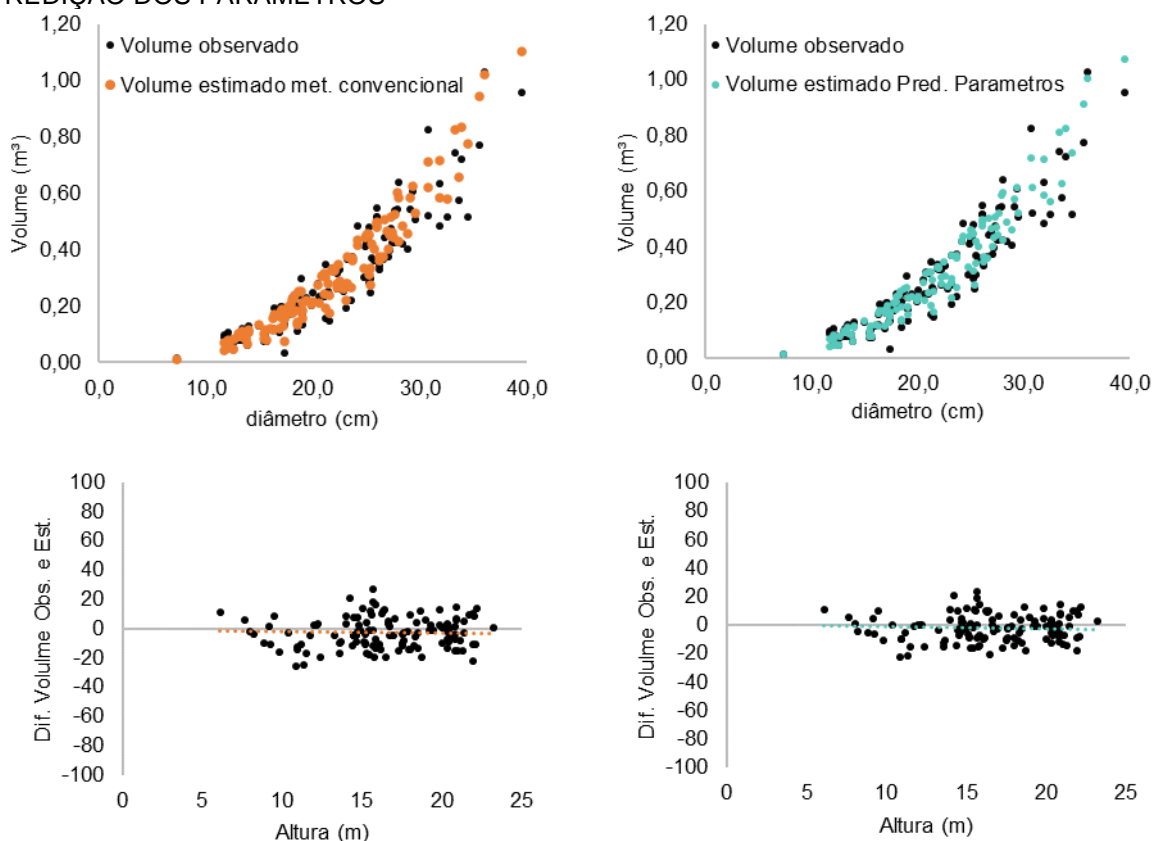
5.4 COMPAÇÃO DE AJUSTES E VOLUMETRIA

A precisão dos ajustes primeiramente é avaliada comparados os valores estimados com os observados, conforme apresentado no tópico anterior. Para melhor entendimento, ainda, os ajustes são verificados de forma quantitativa, comparando os

volumes obtidos por árvore (Volume individual), a estimativa de diâmetros ao longo do fuste e classificação de sortimentos, uma vez que é principal finalidade das funções de afilamento. Também, são validados de forma qualitativa, avaliando graficamente a forma da árvore resultante.

São apresentados os resultados gráficos de volume obtidos por meio da integral da equação. Ao lado esquerdo, consta o comparativo com o ajuste convencional, onde é possível verificar que os volumes estimados condizem com os observados, estando dentro da amplitude de volume e seguindo a curva de volume conforme os valores diâmetros, a mesma característica é observada na Figura 14 para os valores obtidos pela predição dos parâmetros (lado direito).

FIGURA 14: VOLUME CALCULADOS E ESTIMADOS, AJUSTE CONVENCIONAL E PELA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS



O volume calculado pela fórmula de Smalian para árvores cubadas resultou em um volume total de 38,283 m³. As estimativas pela técnica convencional de ajuste, estimou um volume total de 40,021 m³ representando diferença percentual de 4,53%. Por meio da técnica de predição dos parâmetros, obteve-se volume estimado total igual à 39,645 m³, representando diferença de 3,55%. Assim, é possível concluir que

a diferença entre a soma dos volumes observados e estimados é mínima, confirmando que ambas as equações são apropriadas para estimar os volumes totais de *Pinus taeda* nas condições deste estudo.

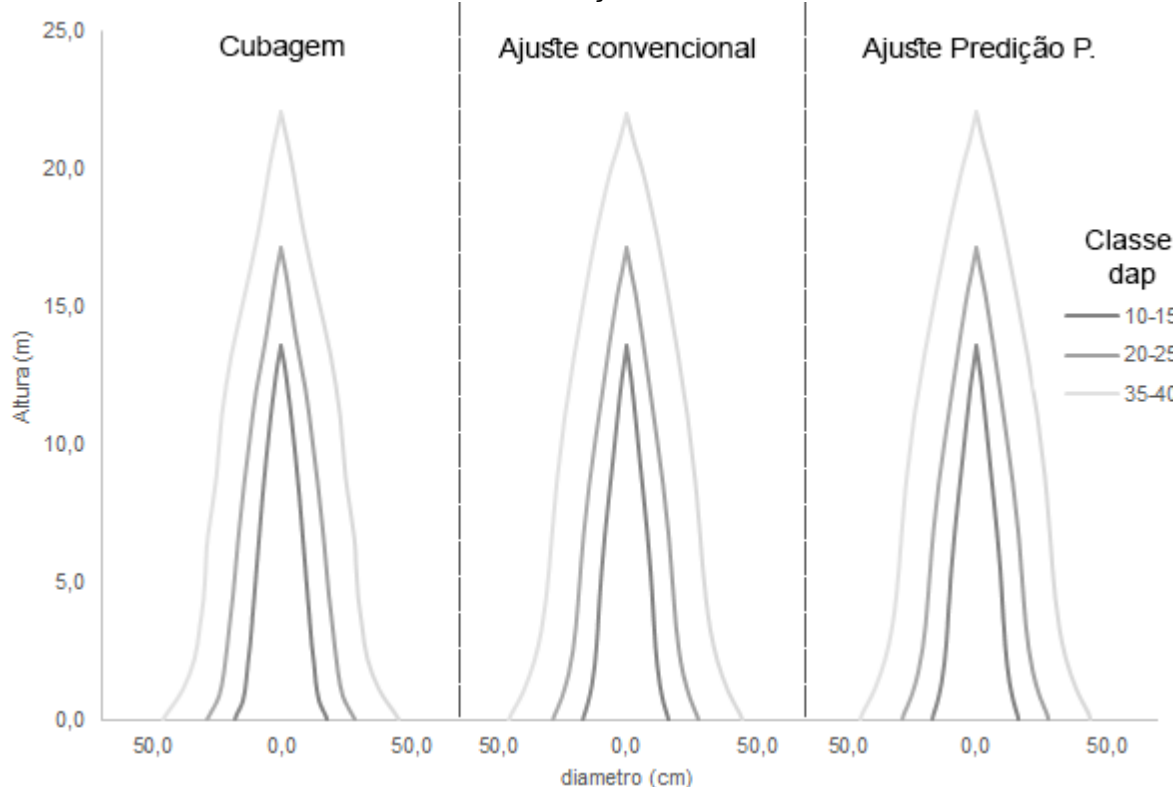
De maneira geral, os volumes estimados tendem a ser maiores que o observado, tal característica é mais evidente quando os volumes resultantes são somados por classe de diâmetro e altura, conforme representado a seguir (tabela 16).

TABELA 16: VOLUMES OBSERVADOS E ESTIMADOS (M³) POR CLASSE DE DIÂMETRO E ALTURA E DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE OS VOLUMES DE *PINUS TAEDA L.*

dap & HT	Cubagem				Ajuste convencional				Predição dos parâmetros			
	(5-10)	[10-15)	[15-20)	[20-25)	(5-10)	[10-15)	[15-20)	[20-25)	(5-10)	[10-15)	[15-20)	[20-25)
(5-10)	0,014	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000
[10-15)	0,362	0,409	1,041	0,000	0,308	0,389	1,014	0,000	0,303	0,394	1,018	0,000
[15-20)	0,185	1,598	2,755	1,201	0,239	1,689	2,701	1,193	0,235	1,675	2,710	1,193
[20-25)	0,149	1,835	3,640	3,634	0,174	1,959	3,547	3,627	0,165	1,929	3,557	3,614
[25-30)	0,000	1,531	5,450	6,176	0,000	1,658	5,860	6,262	0,000	1,626	5,814	6,207
[30-35)	0,000	0,000	2,618	2,927	0,000	0,000	3,223	3,092	0,000	0,000	3,132	3,071
[35-40)	0,000	0,000	0,000	2,759	0,000	0,000	0,000	3,074	0,000	0,000	0,000	2,994
subtotal	0,710	5,372	15,503	16,698	0,732	5,695	16,345	17,248	0,716	5,623	16,230	17,079
(5-10)	-	-	-	-	11,3%	-	-	-	10,4%	-	-	-
[10-15)	-	-	-	-	14,9%	4,9%	2,5%	-	16,3%	3,7%	2,2%	-
[15-20)	-	-	-	-	-28,9%	-5,7%	2,0%	0,7%	-27,1%	-4,8%	1,6%	0,7%
[20-25)	-	-	-	-	-16,6%	-6,8%	2,6%	0,2%	-11,0%	-5,1%	2,3%	0,5%
[25-30)	-	-	-	-	-	-8,3%	-7,5%	-1,4%	-	-6,2%	-6,7%	-0,5%
[30-35)	-	-	-	-	-	-	-23,1%	-5,6%	-	-	-19,6%	-4,9%
[35-40)	-	-	-	-	-	-	-	-11,4%	-	-	-	-8,5%
subtotal	0%	0%	0%	0%	-3,2%	-6,0%	-5,4%	-3,3%	-0,8%	-4,7%	-4,7%	-2,3%

Para efeito de comparação da forma da árvore, os diâmetros ao longo do fuste até os 15 m de altura foram plotados, sendo a porção que contempla maior parte do volume comercial. São apresentadas na Figura 15 as variações de diâmetros médios observados e estimados, sendo apresentado de acordo com a classe de diâmetro, assim cada classe apresenta uma altura média máxima diferente.

FIGURA 15: VARIAÇÃO DE DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE, CUBAGEM E ESTIMADOS PELA TÉCNICA CONVENCIONAL DE AJUSTE E PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS.

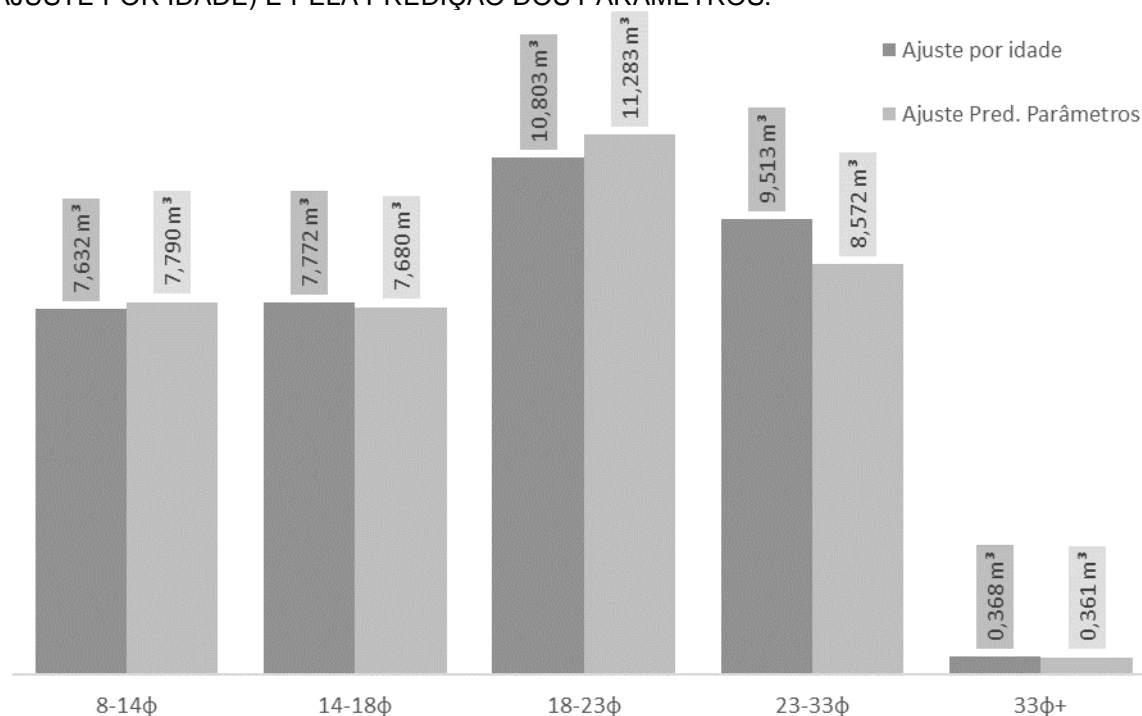


É possível observar por meio da Figura 15 que existe forte similaridade entre os valores estimados de diâmetro e os observados e que estes são capazes de apresentar adequadamente a variação de forma do fuste da árvore. Na representação da forma do fuste, são representadas árvores de pequeno (10-15 ϕ), médio (20-25 ϕ) e grande porte (35-40 ϕ). Em linhas gerais, não observadas discrepâncias significativas em nenhuma das classes diamétricas. A validação gráfica é fundamental, tendo como finalidade validar se as equações descrevem apropriadamente o formato do fuste das árvores.

5.5 ANÁLISE DE SORTIMENTO

Uma das principais finalidades das funções de afilamento é a obtenção de volumes parciais ao longo do fuste, possibilitando assim a divisão da floresta em multiprodutos, separando por exemplo, toras que serão destinadas a laminação, serraria, papel e celulose e energia. Assim, são apresentados na Figura 16 os volumes comerciais estimados por classe de sortimento.

FIGURA 16: SOMATÓRIA DE VOLUME DE SORTIMENTO PELA TÉCNICA CONVENCIONAL (AJUSTE POR IDADE) E PELA PREDIÇÃO DOS PARÂMETROS.



Por meio dos resultados de sortimento, verifica-se que ambas as equações resultaram em valores muito próximos de volume, havendo uma diferença maior na classe de 23-33φ, representando uma variação de 11%, representando cerca de 2,6% do volume comercial total.

Para avaliar de melhor forma os volumes obtidos pelo método convencional e com a predição dos parâmetros, as médias dos sortimentos obtidas pela equação de afilamento foram comparadas pelo teste médias para verificar significância entre os resultados obtidos, utilizando um nível de significância de 5% (Tabela 17).

TABELA 17: TESTE DE MÉDIAS APLICADO AOS VALORES DE VOLUME POR SORTIMENTO DE *PINUS TAEDA L.*

Equação	Média	Variância	Teste T	p-valor
Método convencional	7,218	16,378	0,031ns	97,6%
Predição dos Parâmetros	7,137	16,471		

Os valores de sortimento não diferem entre se ao nível de 95% de significância, podendo concluir que os resultados obtidos por ambas as técnicas são equivalentes.

Souza et al. (2008) ao avaliar a eficiência de diferentes funções de forma na descrição dos perfis dos fustes de árvores de *Pinus taeda L.*, conclui que o polinômio

de quinto grau descreveu de melhor forma a altura e volume comercial, sendo o modelo mais apto a descrever volumes por classe de sortimento.

Mendonça (2006), ao estudar *Eucalyptus* sp. provenientes de plantios do Sul da Bahia, ao realizar ajuste de funções de afilamento, concluiu que o Polinômio de 5º grau foi o mais apropriado para a estimativa de volume comercial, porém é possível observar erros que variaram entre $\pm 100\%$, a mesma característica foi observada para os outros modelos.

Além do volume por classe de sortimento, foram avaliados pelo teste de médias os volumes comerciais resultantes por unidades amostrais, conforme observado na tabela 18.

TABELA 18: TESTE DE MÉDIAS APLICADO AOS VALORES DE VOLUME COMERCIAL POR UNIDADE AMOSTRAL DE *PINUS TAEDA L.*

Equação	Média	Variância	Teste T	p-valor
Método convencional	1,244	0,603	0,068ns	94,6%
Predição dos Parâmetros	1,231	0,589		

Por meio do teste de médias, verifica-se que não há diferença significativa entre os volumes comerciais obtidos pela técnica convencional e pela predição dos parâmetros.

6 CONCLUSÃO

A técnica de predição dos parâmetros pode ser utilizada na obtenção dos estimadores do modelo de *Schöpfer*, desde que as variáveis de entrada do modelo sejam as mesmas para os seis coeficientes.

O modelo da predição dos parâmetros apresentou estatísticas semelhantes ao método convencional, desta forma a comparação entre as duas técnicas não resultou em diferenças significativas, ambas podem ser aplicadas em estudos ou trabalhos da área.

Uma vez ajustada a equação pelo método de predição dos parâmetros, os estimadores poderão ser obtidos por meio de variáveis dendrométricas, dispensando a cubagem destrutiva em uma segunda ocasião.

A análise de sortimento também gerou resultados semelhantes, não havendo diferença significativa entre os volumes comerciais por unidade amostral e por classe de sortimento.

APÊNDICE A

Coeficientes do ajuste por Predição dos Parâmetros.

Árvore Nº	Parcela	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
1	28	1,3198	-4,1206	16,1733	-35,9997	35,2701	-12,6560
2	28	1,3114	-4,0207	15,6591	-34,8248	33,9508	-12,0844
3	28	1,3208	-4,1123	16,0907	-35,8335	35,1629	-12,6423
4	27	1,3289	-4,1173	15,7681	-34,5686	33,5452	-11,9650
5	27	1,3202	-4,1750	16,3717	-35,7778	34,3030	-12,0455
6	27	1,3265	-4,1812	16,2747	-35,6268	34,3842	-12,1843
7	27	1,3134	-3,9949	15,2560	-33,3333	31,9272	-11,1686
8	13	1,2286	-4,3058	16,7432	-33,4829	30,1247	-10,3377
9	13	1,2370	-4,3952	17,1788	-34,4959	31,3187	-10,8781
10	13	1,2225	-4,2249	16,3136	-32,5066	29,0502	-9,8812
11	13	1,2138	-4,1168	15,7489	-31,2191	27,6169	-9,2654
15	14	1,2411	-4,5325	18,1327	-37,0385	33,8394	-11,6720
12	13	1,2358	-4,2147	15,9287	-31,8207	28,9500	-10,1141
13	14	1,2519	-4,7060	19,1092	-39,2263	36,1389	-12,6033
14	14	1,2472	-4,6728	18,9827	-38,9112	35,6951	-12,3739
16	12	1,2903	-4,3510	17,1473	-36,2914	34,3841	-12,2042
17	4	1,2514	-4,6177	19,3481	-41,2402	39,3930	-14,1840
18	4	1,2450	-4,6179	19,5020	-41,5020	39,3778	-14,0499
19	4	1,2447	-4,6249	19,5581	-41,6188	39,4684	-14,0724
20	4	1,2375	-4,6409	19,8380	-42,1463	39,6693	-13,9978
21	4	1,2412	-4,6889	20,0904	-42,7206	40,3048	-14,2693
22	5	1,2256	-4,1915	16,4741	-33,8158	31,3604	-11,0934
23	5	1,2213	-4,1582	16,3414	-33,4883	30,9111	-10,8651
24	5	1,2189	-4,2108	16,7695	-34,3769	31,5956	-11,0323
25	5	1,2232	-4,1251	16,0615	-32,9116	30,4824	-10,7696
26	5	1,2255	-4,2072	16,5878	-34,0568	31,5654	-11,1551
27	6	1,2057	-3,9111	14,8050	-29,3895	26,2499	-8,9891
28	6	1,2121	-3,9788	15,1354	-30,1575	27,1540	-9,3980
29	6	1,2154	-4,0395	15,4863	-30,9395	27,9601	-9,7174
30	6	1,2123	-3,7944	13,8248	-27,3676	24,7372	-8,6465
31	6	1,2082	-3,8799	14,5265	-28,8204	25,8449	-8,9103
32	6	1,1848	-3,4411	11,9701	-23,1375	20,0323	-6,6272
33	6	1,2011	-3,4999	12,0064	-23,3765	20,8391	-7,1988
34	6	1,1925	-3,4905	12,1405	-23,5757	20,6938	-6,9837
35	7	1,2748	-4,5899	19,3550	-42,0745	40,5392	-14,5420
36	7	1,2623	-4,2597	17,3122	-37,5946	36,1745	-12,9262
37	7	1,2578	-4,2637	17,4427	-37,8313	36,2243	-12,8585
38	7	1,2503	-4,1458	16,7813	-36,3504	34,6685	-12,2287
39	8	1,2596	-4,4472	19,3178	-43,0211	41,9688	-15,1164
40	8	1,2717	-4,4214	18,8584	-42,1570	41,6473	-15,2450
41	8	1,2657	-4,4014	18,8567	-42,0937	41,3713	-15,0409
42	8	1,2636	-4,3978	18,8796	-42,1224	41,3211	-14,9851

Continua...

Árvore Nº	Parcela	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
43	9	1,2735	-4,0305	15,1205	-31,1760	28,8221	-10,0255
44	9	1,2759	-3,9687	14,6280	-30,1503	28,0180	-9,8206
45	9	1,2654	-3,8676	14,1583	-29,0434	26,6640	-9,1883
46	9	1,2690	-3,8816	14,1749	-29,1139	26,8556	-9,3177
47	9	1,2479	-3,6476	13,0068	-26,4210	23,7529	-7,9410
48	9	1,2547	-3,6649	12,9752	-26,4156	23,9825	-8,1379
49	3	1,2568	-4,4003	18,0566	-38,4066	36,2205	-12,7563
50	3	1,2548	-4,4809	18,6710	-39,7001	37,2831	-13,0556
51	3	1,2618	-4,4737	18,4617	-39,3181	37,1928	-13,1564
52	3	1,2612	-4,2993	17,2419	-36,7107	34,8978	-12,4235
53	3	1,2557	-4,3244	17,5477	-37,3093	35,2197	-12,4184
54	18	1,2392	-3,3178	9,9247	-17,5405	14,1722	-4,4804
55	18	1,2375	-3,6038	11,9866	-21,9184	17,9202	-5,6220
56	18	1,2405	-3,4917	11,1252	-20,1116	16,4558	-5,2206
57	18	1,2376	-3,5152	11,3598	-20,5821	16,7569	-5,2573
58	20	1,2694	-4,6316	18,5661	-38,1631	34,9753	-12,0380
59	20	1,2802	-4,7153	18,9085	-38,9981	36,0942	-12,5975
60	17	1,2695	-4,3470	16,9700	-35,3415	33,1451	-11,7264
61	17	1,2684	-4,6578	19,1904	-40,0661	37,2258	-12,9887
62	17	1,2654	-4,3281	16,9308	-35,2167	32,8847	-11,5640
63	17	1,2689	-4,6474	19,1062	-39,8910	37,0900	-12,9550
64	15	1,2492	-4,4718	17,5458	-35,3403	32,0428	-11,0547
65	15	1,2535	-4,5542	18,0276	-36,4110	33,1362	-11,4834
66	15	1,2437	-4,4837	17,7590	-35,7407	32,1901	-10,9937
67	19	1,2208	-4,3241	17,9387	-37,8151	35,3205	-12,3764
68	19	1,2099	-4,1211	16,7551	-35,1868	32,6392	-11,3263
69	19	1,2312	-4,3760	18,0663	-38,1866	36,0161	-12,7927
70	19	1,2350	-4,1908	16,6656	-35,2404	33,5961	-12,1109
71	16	1,2215	-4,1440	16,0377	-32,2975	29,3247	-10,1756
72	16	1,2130	-4,0120	15,3025	-30,6453	27,5718	-9,4585
73	16	1,2262	-4,2038	16,3495	-33,0104	30,1226	-10,5202
74	25	1,3868	-4,3249	15,8552	-33,8707	31,9442	-10,9706
75	25	1,3941	-4,3083	15,5757	-33,3370	31,7189	-11,0276
76	25	1,3905	-4,3459	15,9223	-34,0447	32,2159	-11,1199
77	25	1,3943	-4,4527	16,5881	-35,5018	33,6250	-11,6366
78	25	1,3791	-4,1134	14,5376	-30,9877	29,1560	-9,9480
79	10	1,2745	-3,9816	14,9185	-31,0644	28,7231	-9,8781
80	10	1,2776	-3,9950	14,9411	-31,1420	28,9009	-9,9926
81	10	1,2850	-4,0391	15,0820	-31,5144	29,4933	-10,3211
82	11	1,2561	-3,3704	10,7607	-21,1140	18,8325	-6,3694
83	11	1,2552	-3,4901	11,6276	-22,9534	20,4020	-6,8447
84	11	1,2482	-3,4161	11,2669	-22,1162	19,4193	-6,4013
85	29	1,2651	-3,8299	14,0324	-28,9347	26,5755	-9,1168
86	29	1,2630	-3,9018	14,5893	-30,1040	27,5237	-9,3768

Continua...

Árvore Nº	Parcela	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
87	29	1,2827	-4,0558	15,2193	-31,6404	29,5808	-10,4050
88	29	1,2747	-3,8892	14,2290	-29,4481	27,3725	-9,5531
89	23	1,1888	-3,8387	15,3358	-32,0203	29,9833	-10,6943
90	23	1,1773	-3,8209	15,4761	-32,2074	29,7296	-10,3929
91	23	1,1886	-3,9125	15,8625	-33,1412	30,9522	-10,9944
92	23	1,1934	-3,7611	14,6782	-30,6662	28,9793	-10,4724
93	23	1,1774	-3,7447	14,9350	-31,0538	28,7259	-10,0786
94	23	1,1921	-3,9820	16,2710	-34,0475	31,8727	-11,3531
95	23	1,1978	-4,0113	16,3433	-34,2602	32,2739	-11,5938
96	23	1,1859	-3,8222	15,2855	-31,8846	29,7601	-10,5684
97	1	1,3146	-4,1992	16,0590	-34,1087	31,9626	-11,0279
98	1	1,3167	-4,2786	16,5705	-35,2209	33,0111	-11,3994
99	1	1,3207	-4,3476	16,9662	-36,1021	33,9207	-11,7605
100	1	1,3288	-4,3364	16,7029	-35,6153	33,7780	-11,8656
101	1	1,3243	-4,2572	16,2490	-34,6029	32,7299	-11,4482
102	1	1,3225	-4,2225	16,0447	-34,1497	32,2697	-11,2689
103	21	1,2767	-4,7274	19,4570	-40,9796	38,2431	-13,2930
104	21	1,2940	-4,9012	20,2872	-42,9157	40,5507	-14,3478
105	21	1,2846	-4,8379	20,0555	-42,3311	39,7031	-13,9018
106	21	1,2971	-4,9016	20,2170	-42,7976	40,5636	-14,4135
107	21	1,2880	-4,8321	19,9364	-42,1093	39,6306	-13,9433
108	22	1,2758	-4,1340	16,1745	-34,3665	32,2436	-11,2057
109	22	1,2880	-4,3609	17,4970	-37,3036	35,2414	-12,3805
110	22	1,2730	-4,1344	16,2383	-34,4786	32,2495	-11,1587
111	22	1,2883	-4,3631	17,5050	-37,3237	35,2706	-12,3958
112	22	1,2917	-4,3542	17,3644	-37,0563	35,1582	-12,4248
113	12	1,2937	-4,4634	17,8618	-37,8493	35,8690	-12,7382
114	12	1,2757	-4,1200	15,8544	-33,3892	31,3171	-10,9549
115	12	1,2857	-4,3884	17,5198	-37,0390	34,8639	-12,2636
116	12	1,2700	-4,0891	15,7677	-33,1503	30,9056	-10,7174
117	12	1,2804	-4,2381	16,5795	-34,9823	32,8789	-11,5377
118	12	1,2832	-4,2521	16,6153	-35,0851	33,0675	-11,6496
119	2	1,2693	-4,2315	16,9131	-36,0442	33,9686	-11,8947
120	2	1,2764	-4,2222	16,6830	-35,6209	33,8528	-11,9931
121	2	1,2882	-4,4822	18,2463	-39,0720	37,2956	-13,3059
122	2	1,2875	-4,5239	18,5579	-39,7291	37,8414	-13,4630
123	2	1,2724	-4,3357	17,5769	-37,4908	35,3444	-12,3880
124	24	1,3305	-4,0313	14,9324	-31,8997	30,0546	-10,3793
125	24	1,3335	-4,0513	15,0048	-32,0815	30,3175	-10,5175
126	24	1,3393	-4,0580	14,9205	-31,9555	30,4096	-10,6539
127	24	1,3260	-3,9363	14,3644	-30,6460	28,8017	-9,9004
128	26	1,3401	-4,2390	16,3357	-35,5927	34,1562	-12,0003
129	26	1,3429	-4,3500	17,0556	-37,1559	35,6225	-12,5162
130	26	1,3421	-4,1251	15,4863	-33,7973	32,6543	-11,5621

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, V. C. L. De; CALEGARIO, N.; SCOLFORO, J. R. S. **Análise de Algumas Alternativas para Obter o Coeficiente Angular da reta no Método da Altura Relativa**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 16, n. 3/4, p. 303-317, 2006.

ASSIS, A.L. et al. **Avaliação de modelos polinomiais não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de Pinus taeda**. Ciência Florestal, v.12, n.1, p.89-107, 2002

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. DO; SILVA FILHO, D. F. DA. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

BONAZZA, M.; SAMPIETRO, J. A.; SILVESTRE, R.; NICOLETTI, M. F.; LIMA, G. C. P.; SILVA, A. L. da.; MORÉS, D. F.; RODRIGUES, A. L. **Accuracy of nondestructive volumetric estimates in stands of Pinus taeda L**. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, v. 9, n. 31, p. 71-78, 2015.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. 2003. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. Disponível em: . Acesso em: 27 dez. 2020.

CABACINHA C. D.; SCOLFORO J. R. S.; THIERSCH C. R.; SALES N. L. P.; CARVALHO L. R. **Uma nova abordagem para o método geométrico usando o índice da parábola**. Ciência Florestal, 23 (1): 261-271 2013.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e Respostas**. 4. ed. Viçosa: ed. da UFV, 2013. 605 p.

CASTRO NETO, F. de. **Uso de variáveis climáticas para classificação de sítios em povoamentos de eucalipto**. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber management: a quantitative approach**. 3th ed. New York: J. Willey, 1983. 333 p.

DAVID, HASSAN C.; MIRANDA, R. O. V. ; WELKER, J. C. ; FIORENTIN, LUAN DEMARCO ; EBLING, A. A. ; SILVA, P. H. B. M. . **Strategies for stem measurement sampling: a statistical approach of modelling individual tree volume**. CERNE (UFLA), v. 33, p. 249, 2016.

FARIAS, K. J.; NICOLETTI, M. F.; AGUIAR, N. S. **Quantificação do volume total por meio de modelos volumétricos e de afilamento em Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden**. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 18, n. 1, p. 33–40, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811711812019033>. Acesso em: 10 dez. 2022.

FIGUEIREDO, Jade Ferreira et al. **Crescimento em altura de diferentes híbridos de eucalipto em diferentes idades**. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 8, n. 3, p. 225-233, 2020.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. 1992.

FREESE, F. **Linear Regression methods for forest research**. U.S.For.Serv.Res.Pap.FPL-17,1964. 137p.

FOGLIATTO, F. S. **Estratégias para Modelagem de Dados Multivariados na Presença de Correlação**. *Gestão e Produção (UFSCar)* , São Carlos, SP, v. 7, n.1, p. 17-28, 2000.

GOMES, A.M.A. **Medição dos arvoredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, p. 413, 1957.

GUJARATI, D.N.; PORTER, D.C. **Basic Econometrics**. AMGH, Porto Alegre. 2011.

HUSCH, B.; MILLER, C. L.; BEERS, T. E. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: J. Willey & Sons, 1982. 397p.

KOHLER, S. V.; KOEHLER., H. S.; FILHO, A. F. **Modelos de Afilamento para Pinus taeda por Classes de Idade**. FLORAM, vol.20, n4, p.470-479, 2013 DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.039> Disponível em < <https://floram.org/doi/10.4322/floram.2013.039> > Acesso em: 10 jan.2023.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**, Justus Perthes, Gotha. 1928.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2022 ano base 2021**. Brasília, 2023. 22-57 p. Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf> > Aceso em: 05 fev.2023.

LACHINI, E. **Efeito da Idade na Estimativa do Volume de árvores de Pinus caribaea var. hondurensis e Pinus oocarpa**. 44 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

LAMBERT, L. **Crescimento de diferentes espécies de Pinus spp. na região Serrana de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Pós-graduação em Engenharia Florestal, 108p. 2018

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. **Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.;SOARES, A. A. V.. **Método de predição de parâmetros de modelos de crescimento em função do índice de local**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2006. 316 p.

MIGUEL, E. P.; ENCINAS, J. I.; REZENDE, A. V.; FERREIRA, J. C. S.; AGUIAR, G. **P. Classificação de sítio para plantios de *Eucalyptus urophylla* em Niquelândia, Estado de Goiás**, Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v.7, n.12 p. 1-11. 2011.

MIRANDA, D. L. C.; JUNIOR, V. B.; GOUVEIA, D. M. **Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis***. Scientia Plena, v. 11, n. 3, p. 1-8, 2015. Disponível em: < <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/2427/1158> > Acesso em: 05 fev. 2023.

MOREIRA, J.M.M.A.P.; OLIVEIRA, E.B. de. **Importância do setor forestal brasileiro com ênfase nas plantações forestais comerciais**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em :< http://iba.org/images/shared/Biblioteca/Estudo_embrapa.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2023.

NASCIMENTO, F. A. F.; DIAS, A. N. ; AFONSO, F. F. ; MIRANDA, G. M. ; ARCE, J. E **Sistema de Crescimento e Produção para Povoamentos de *Pinus Taeda* na Região Norte de Santa Catarina**. CERNE, v. 21, p. 235-242, 2015.

Péllico NS, Brena DA. **Inventário florestal**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 1997.

ROSSI, A. S.; DRESCHER, R. CALDEIRA, S.F.; CARVALHO, S. P. C.; WOJCIECHOWSKI, J. C.; FERREIRA, M. A. C.. **Fator de forma e afilamento para povoamentos não desbastados de *Pinus caribaea* var. *caribaea* na região Centro-Sul de Mato Grosso**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso.

SANTOS, M. C.; ROVEDA, M.; ZANON, M. L. B.; FILHO, A. F.; ROIK, M.; PACHECO, J. M.; SCAVINSKI, V. **Inventário Florestal Utilizando Técnicas de Silvicultura de Precisão em Povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. Floresta e Ambiente 2017; 24: e00082714, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.082714>

SCAVINSKI, V.; **Projeção da produção utilizando curvas de sítio anamórficas e polimórficas para plantios de *eucalyptus grandis* w. Hill. Ex. Maiden**, 2014. 75 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2014.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: métodos para classificação de sítios florestais**. Lavras: UFLA / FAEPE, 1997. 151p.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras, MG: UFLA – Universidade Federal de Lavras; FEPE, 1998.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3: Relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.

SCHUCHOVSKI, M. S.; ARCE, J. E.; OLIVEIRA, E. B; **Altura dominante e índice de sítio para Pinus taeda em dois polos de desenvolvimento florestal no sul do Brasil**. Sci. For., Piracicaba, v. 47, n. 121, p. 92-104, mar. 2019

SELLE, G. L; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Classificação de Sítio para Pinus taeda I., Através da Altura Dominante, para a Região de Cambará do Sul, RS, Brasil**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 77-95, 1994.

SERPE, ET AL. **Modelos de Volume e Afilamento para Florestas de Pinus taeda I**. BIOFIX Scientific Journal v. 4 n. 1 p. 35-42 2019

SILVA, F.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. **Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de Pinus caribaea var. hondurensis na região do Triângulo Mineiro**. Sci. For., Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 367-376, set. 2011

SILVA, M. C.; GOERGEN, S. F.; COELHO, M. C. B.; GIONGO, M.; ERPEN, M. L.; SANTOS, A. F. **Avaliação de modelos volumétricos para plantio comercial de Calophyllum brasiliense Cambess na região sul do estado do Tocantins**. Journal of Biotechnology and Biodiversity| v.6 | n.1 | 2018.

SOUZA, R. R.; NOGUEIRA, G. S.; MURTA JUNIOR, L. S.; PELLI, E.; OLIVEIRA, M. L. R.; ABRAHÃO, C. P.; LEITE, H. G. **Forma de fuste de árvores de Eucalyptus**

em plantios com diferentes densidades iniciais. Scientia Forestalis, v. 44, n. 109, p. 33-40, 2016.

SOUSA, L. F. da C. e; OLIVEIRA, J. de; FERREIRA, P. S. A.; SANDIM, A. S. de A. **Modelo de ranqueamento empresarial para análise da relevância das empresas no setor de florestas plantadas**. Pesquisa Florestal Brasileira, [S. l.], v. 41, 2021. DOI: 10.4336/2021.pfb.41e201901820. Disponível em: < <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1820> >. Acesso em: 28 jan. 2023.

SOUZA, C. A. M. ; CHASSOT, T. ; FINGER, C. A. G ; SCHNEIDER, P. R. ; FLEIG, F. D . **Modelos de afilamento para o sortimento do fuste de pinus taeda I**. Revista Universidade Rural. Série Ciências Exatas e da Terra (UFRRJ) , v. 38, p. 2510/3-2515, 2008.

TÉO, S. J. **Modelagem do Crescimento e Produção de Árvore Individual, para Pinus taeda I., na Região meio Oeste de Santa Catarina**. Floresta, Curitiba, PR, v. 52, n.3, p. 436 - 456, jul/set/2022 – Edição especial comemorativa. DOI: 10.5380/rf.v52i3. 86805

VIEIRA, M. A.; SOUZA, F. M. L.; **Importância do Inventário Florestal no Levantamento do Povoamento**. Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da Fait. N. 1. maio, 2021.