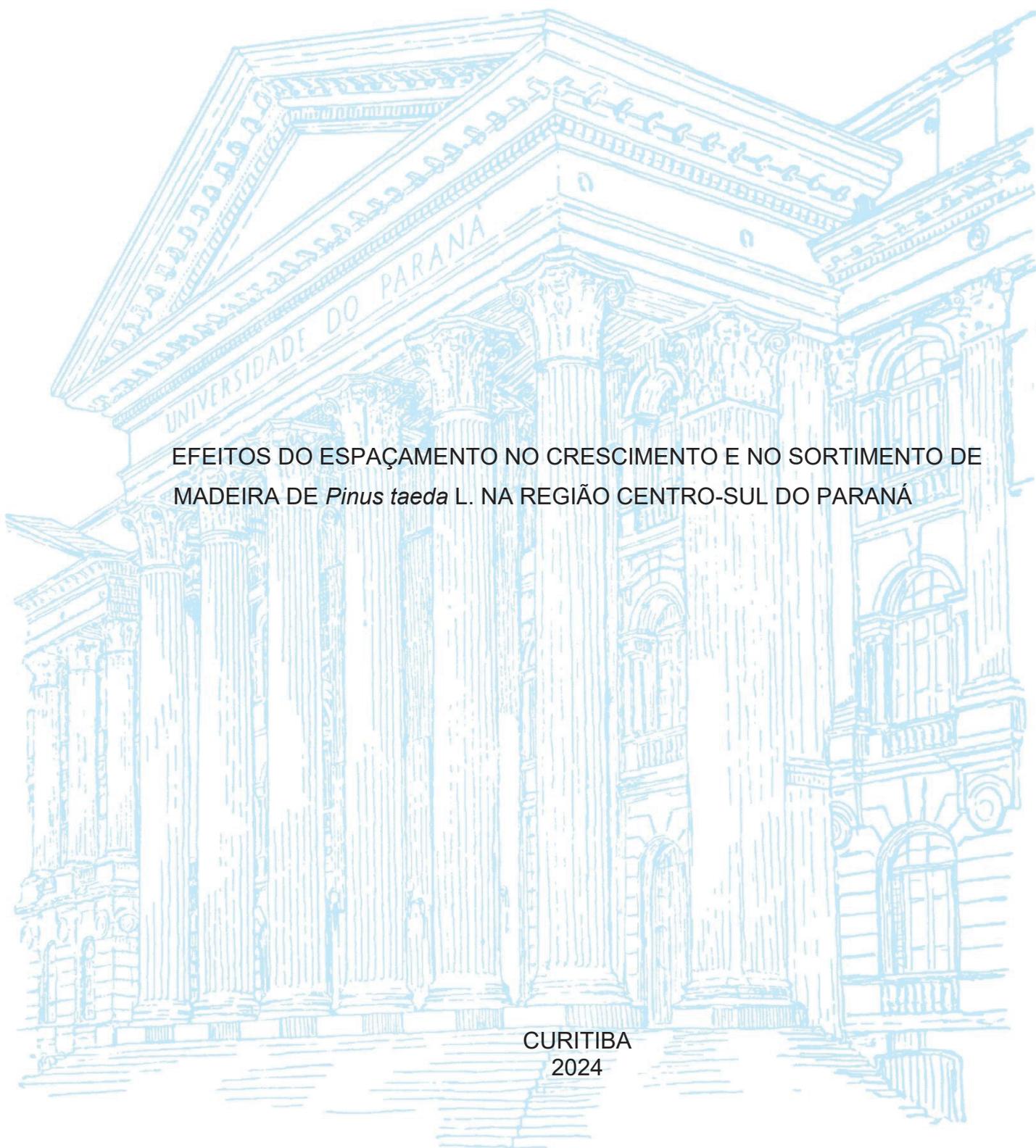


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA SOUZA FERREIRA

EFEITOS DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO E NO SORTIMENTO DE
MADEIRA DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ

CURITIBA
2024



ANA PAULA SOUZA FERREIRA

EFEITOS DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO E NO SORTIMENTO DE
MADEIRA DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal. Área de Concentração: Manejo de Florestas nativas e plantadas

Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Coorientadores: Prof. Dr. Edilson Urbano e Prof.^a Dr.^a Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães

CURITIBA
2024

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Ferreira, Ana Paula Souza

Efeitos do espaçamento no crescimento e no sortimento de madeira de *pinus taeda* L. na região centro-sul do Paraná / Ana Paula Souza Ferreira. - Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Coorientadores: Prof. Dr. Edilson Urbano

Profa. Dra. Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 05/08/2024.

1. Florestas - Medição - Paraná. 2. Árvores - Medição - Paraná.
3. Pinus taeda - Medição. 4. Árvores - Crescimento - Paraná.
I. Figueiredo Filho, Afonso. II. Urbano, Edilson. III. Guimarães, Fabiane Aparecida Retslaff. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.5(816.2)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

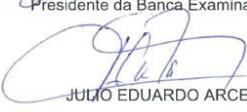
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ANA PAULA SOUZA FERREIRA** intitulada: **EFEITOS DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO E NO SORTIMENTO DE MADEIRA DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ**, sob orientação do Prof. Dr. AFONSO FIGUEIREDO FILHO, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 05 de Agosto de 2024.



AFONSO FIGUEIREDO FILHO

Presidente da Banca Examinadora



JULIO EDUARDO ARCE

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



EDILSON BATISTA DE OLIVEIRA

Avaliador Externo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA)

*Aos meus avós, que mesmo não estando mais aqui, continuam a me inspirar
e guiar com suas lembranças e ensinamentos.*

Dedico

*Aos meus Pais que sempre acreditaram em mim e me apoiaram em cada
passo desta jornada!*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido chegar até aqui, e por sempre colocar pessoas boas em minha vida.

Aos meus pais, Alcides Ferreira e Claudia Souza, e às minhas irmãs, Ana Clara Ferreira e Ana Karolina Ferreira, que são minhas maiores fontes de inspiração e principais apoiadores. Se hoje chego até aqui, é porque eles me mostraram o caminho e caminharam ao meu lado. Agradeço de coração por sempre me apoiarem e incentivarem, e por todo o amor e dedicação que têm por mim.

A todos os meus familiares, em especial meus avós (*in memoriam*), Francisca Dias, Herundino Ferreira e Anézia Souza, que sempre me amaram e cuidaram de mim, por terem me incentivado a estudar e ser uma pessoa melhor todos os dias.

À minha família que se formou em Capitão Poço, Adriane Santos, Luiz Carlos e Milton Garcia por sempre estarem dispostos a me ajudar e por sempre me incentivarem a conquistar meus objetivos.

Ao meu amigo Washington Duarte, por fazer com que este período fosse mais fácil. Tê-lo em minha vida é motivo de grande alegria e aprendizado. Agradeço por estar sempre disposto a me ajudar e por seu constante apoio. E Aos meus amigos Jordan Modesto e Amanda Oliveira por estarem presentes me apoiando durante esse período.

Aos meus amigos Antonio Woycikievicz, Alessandra Pessoa e Rodrigo Souza, que me ajudaram na coleta de dados para esta pesquisa. Agradeço também por toda a ajuda durante o mestrado e pelos momentos bons que passei com vocês.

Aos meus amigos Jimmy Ocles, Karla Almada e Girlene Cruz, por serem pessoas iluminadas que tornaram o período do mestrado mais especial. Agradeço pelas conversas, pelo conhecimento compartilhado e por sempre me tratarem com carinho. Conhecê-los foi uma bênção, e cada momento junto a vocês é de aprendizado e crescimento. E a todos os meus amigos da pós-graduação que ainda não foram citados, mas que também contribuíram de forma direta ou indireta para essa pesquisa, e para meu desenvolvimento pessoal em especial, Tawani Naide, Joilan Xipaia, João Madi, Claiton Nardini, Lucas Moura, Sandra Susi, Gabriel Orso, Ornélio Nhaduco, Ivana Dias e Theonize Albuês pelos bons momentos que compartilhamos juntos.

Aos meus orientadores, Prof. Afonso Figueiredo, Prof. Edilson Urbano e Prof.^a Fabiane Guimarães por me darem a oportunidade de aprender com eles, e por sempre estarem dispostos a me ajudar.

Ao meu professor e orientador da UFRA, Prof. João Olegário, e minha professora e amiga Samantha Tocantins, por continuarem me ajudando e orientando quando preciso.

À banca avaliadora, por aceitarem o convite e por contribuírem com o trabalho.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), bem como a todos os funcionários que, de alguma forma, me apoiaram durante o mestrado. Em especial, gostaria de mencionar os professores Alexandre Behling, Sylvio Pellico Netto e Júlio Arce, cujo apoio foi fundamental. Agradeço também a todas as pessoas que participaram direta ou indiretamente da minha formação.

À Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO) pela área da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento na concessão da bolsa de mestrado.

“Quando me sinto fraco, é então que sou forte”

(2 Coríntios 12:10)

RESUMO

O estudo teve como objetivo avaliar e comparar a influência do espaçamento nos principais atributos dendrométricos e no sortimento de madeira em *Pinus taeda* L. aos 21 anos de idade. O experimento foi instalado em 2002 no município de Irati, Paraná, e envolveu nove tratamentos com espaçamentos entre 1,0 e 16,0 m². Um inventário florestal foi realizado para coleta dos dados em novembro de 2023. Foram calculados os parâmetros dendrométricos dos diferentes tratamentos, como diâmetro médio aritmético, diâmetro médio quadrático, altura total média, área transversal média, área basal e volume individual e por hectare. Também foi avaliada a mortalidade aos 21 anos. Os volumes por sortimento foram estimados usando funções de afilamento. Análises de variância (ANOVA) e o teste de Tukey foram aplicados para avaliar o efeito dos espaçamentos no crescimento. Os resultados mostraram que nos tratamentos de 1 m² e 2 m² as taxas de mortalidade foram superiores, com o tratamento de 1 m² apresentando 14,9% de sobrevivência e o de 2 m², 28,5%. A distribuição diamétrica variou conforme o espaçamento, sendo mais assimétrica em menores espaçamentos e mais simétrica em maiores espaçamentos, porém com maior amplitude. Espaçamentos maiores resultaram em diâmetros, áreas transversais e volumes individuais significativamente superior, enquanto a altura total não foi afetada pela densidade inicial. Para área basal e volume por hectare, o tratamento de 1 m² foi o único a diferir estatisticamente dos demais, possivelmente devido à alta mortalidade. Espaçamentos densos produziram mais madeira para o sortimento Processo, enquanto espaçamentos amplos foram melhores para sortimentos de maior valor, como Laminação e Serraria 2. O estudo mostrou que a densidade inicial afeta significativamente a mortalidade e os atributos dendrométricos em *Pinus taeda* aos 21 anos de idade e interfere no volume para cada tipo de sortimento.

Palavras-chave: Densidade inicial; floresta plantada, sortimento de madeira, Manejo florestal.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate and compare the influence of spacing on the production of main dendrometric attributes and wood assortment in 21-year-old *Pinus taeda* L. The experiment was established in 2002 in Irati, Paraná, Brazil, involving nine treatments with spacings ranging from 1.0 to 16.0 m². An inventory was made to collect data in November 2023. The dendrometric parameters of the different treatments were calculated, such as arithmetic mean diameter, quadratic mean diameter, mean total height, mean individual basal area and volume, beside basal area and volume per hectare. Mortality rates at 21 years were also evaluated. Assortment volumes were estimated using adjusted taper functions. Analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test were applied to assess spacing effects at the growth. Results showed higher mortality rates in the 1 m² and 2 m² treatments, with 14.9 and 28.5% survival for 1 and 2 m², respectively. Diameter distribution varied, being more asymmetrical in smaller spacings and more symmetrical in larger ones, but with greater amplitude. Larger spacings resulted in significantly larger diameters, basal individual area, and individual volumes, while the total height was not affected by the initial density. Basal area and volume per hectare did not significantly differ among treatments, except for the 1 m² treatment, which differed statistically, probably due to high mortality. Denser spacings favored more wood for processing assortment, while wider spacings performed better for higher-value assortments like lumber and sawmill 2. The study demonstrated that initial density significantly influences mortality and dendrometric attributes in 21-year-old *Pinus taeda*, impacting the volume allocation for each assortment type.

Keywords: Initial density; plantation forest, wood assortment, forest management.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
FIGURA 2 - DISPOSIÇÃO DAS PARCELAS DO EXPERIMENTO E RESPECTIVAS DIMENSÕES PROPORCIONAIS DE OCUPAÇÃO DO ESPAÇO NO TERRENO.....	32
FIGURA 3 - PORCENTAGEM DE MORTALIDADE POR ESPAÇO VITAL EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. COM 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	39
FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA POR TRATAMENTO E POR HECTARE EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. COM 21 ANOS NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	40
FIGURA 5 - RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA DE UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	42
FIGURA 6 - COMPORTAMENTO DOS MODELOS HIPSOMÉTRICOS AJUSTADOS PARA UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. DE 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	43
FIGURA 7 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO MÉDIO ARITIMÉTICO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	46
FIGURA 8 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO MÉDIO QUADRÁTICO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	47
FIGURA 9 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL ÁREA TRANVERSAL AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	48
FIGURA 10 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL ALTURA TOTAL AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	50

FIGURA 11 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL VOLUME INDIVIDUAL AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	52
FIGURA 12 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL ÁREA BASAL AVALIADA AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	54
FIGURA 13 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL VOLUME POR HECTARE AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	56
FIGURA 14 - PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE PARA LAMINAÇÃO, SERRARIA 2, SERRARIA 1 E MADEIRA PARA PROCESSO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	60
FIGURA 15 - RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA LAMINAÇÃO, SERRARIA 2, SERRARIA 1 E PARA PROCESSO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DO EXPERIMENTO.	32
TABELA 2 - MODELOS HIPSOMÉTRICOS AJUSTADOS PARA A ESPÉCIE <i>Pinus taeda</i> L. COM 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	33
TABELA 3 - ATRIBUTOS PARA AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	35
TABELA 4 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA O MODELO DE AFILAMENTO DE QUINTO GRAU PARA ESPAÇAMENTOS DIFERENTES DE <i>Pinus taeda</i> L. ESTABELECIDOS NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	36
TABELA 5 - CLASSES DE SORTIMENTO FLORESTAL E RESPECTIVOS PREÇOS PARA <i>Pinus taeda</i> L. NO ESTADO DO PARANÁ.....	37
TABELA 6 - DENSIDADE INICIAL, MORTALIDADE E SOBREVIVÊNCIA POR TRATAMENTO E POR HECTARE OS NOVE ESPAÇAMENTOS ANALISADOS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. COM 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	38
TABELA 7 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. DE 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	42
TABELA 8 - DIÂMETRO MÉDIO ARITMÉTICO (d) E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	45
TABELA 9 - MÉDIAS DE DIÂMETRO QUADRÁTICO (dg) E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	46
TABELA 10 - MÉDIAS DE ÁREA TRANSVERSAL E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.	48

TABELA 11 - MÉDIAS DE ALTURA TOTAL E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	49
TABELA 12 - MÉDIAS DO VOLUME INDIVIDUAL MÉDIO TOTAL COM CASCA (<i>v</i>) E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADAS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	51
TABELA 13 - MÉDIAS DE ÁREA BASAL E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	53
TABELA 14 - MÉDIAS DE VOLUME TOTAL POR HECTARE E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	55
TABELA 15 - VOLUME COM CASCA (m ³ ha ⁻¹), PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE E RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA LAMINAÇÃO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>P. taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	57
TABELA 16 - VOLUME COM CASCA (m ³ ha ⁻¹), PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE E RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA SERRARIA 2 AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE <i>P. taeda</i> L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.....	58
TABELA 17 - VOLUME COM CASCA (m ³ ha ⁻¹), PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE E RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA SERRARIA 1 AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM	

PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

.....59

TABELA 18 - VOLUME COM CASCA (m³ ha⁻¹), PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE E RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA PROCESSO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

.....60

TABELA 19 - RECEITA BRUTA TOTAL POR TRATAMENTO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVO	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1	O GÊNERO <i>Pinus</i>	22
3.2	EFEITOS DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO DE ATRIBUTOS DENDOMÉTRICOS	23
3.3	SORTIMENTO FLORESTAL EM PLANTAÇÕES DE <i>Pinus taeda</i> L. ...	26
3.4	AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA PRODUÇÃO MADEIREIRA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS	29
4	METODOLOGIA	31
4.1	ÁREA DE ESTUDO	31
4.2	DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	32
4.3	COLETA E ANÁLISE DE DADOS	33
4.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO EXPERIMENTO	36
4.5	AVALIAÇÃO DO SORTIMENTO PRODUZIDO E SEU VALOR ECONÔMICO	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	38
5.2	DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	39
5.3	MODELAGEM DAS RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS POR TRATAMENTO	41
5.4	EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO CRESCIMENTO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	44
5.4.1	DIÂMETRO MÉDIO ARITIMÉTICO (<i>d</i>)	44
5.4.2	DIÂMETRO MÉDIO QUADRÁTICO (<i>dg</i>)	46
5.4.3	EFEITO DO ESPAÇO VITAL NA ÁREA TRANSVERSAL (<i>g</i>)	48
5.4.4	ALTURA TOTAL (<i>h</i>)	49
5.4.5	VOLUME INDIVIDUAL POR ÁRVORE (<i>v</i>)	50

5.4.6	ÁREA BASAL (G) POR HECTARE	52
5.4.7	VOLUME TOTAL COM CASCA POR HACTARE (V)	54
5.5	AVALIAÇÃO DOS SORTIMENTOS.....	56
6	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	64
	Apêndice 1.....	71
	Apêndice 2.....	72

1 INTRODUÇÃO

A silvicultura desempenha um papel fundamental na economia do Brasil, que atualmente possui cerca de 9,9 milhões de hectares de floresta plantada, dos quais 70,6% estão localizados nas regiões Sul e Sudeste, concentrando-se principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Os plantios de *Eucalyptus* ocupam 7,6 milhões de hectares, enquanto as áreas com o gênero *Pinus* somam 1,9 milhão de hectares, totalizando, 96% das áreas com florestas plantadas para fins comerciais no País (IBÁ, 2023).

No estado do Paraná, as plantações de *Pinus* abrangem mais de 713 mil hectares (IBÁ, 2023), sendo o *Pinus taeda* L. a espécie mais plantada na região (IBGE, 2020). Os plantios de pinus e eucaliptos no Paraná contribuem para a produção de matéria-prima para diferentes fins, como celulose, papel, painéis reconstituídos, compensados, madeira serrada, energia e produtos com maior valor agregado, como pisos de madeira sólida, portas, janelas, molduras e madeira engenheirada (APRE, 2020).

Considerando a importância dos plantios de *Pinus* para o mercado florestal brasileiro, torna-se necessário adotar regimes de manejo adequados para garantir a sustentabilidade dessas áreas. Ao direcionar práticas que agregam valor à madeira, é possível diversificar os produtos obtidos, reduzindo o impacto das flutuações de mercado em cada item individualmente. Assim, a gestão e orientação das florestas para a produção de múltiplos produtos derivados da madeira pode maximizar os lucros (ASSIS et al., 2002).

A escolha do espaçamento ideal, de acordo com os objetivos do plantio, é, segundo Kronka et al (2005), a primeira prática silvicultural que pode influenciar nas propriedades da futura árvore. Chies (2005) afirmou que o principal objetivo da seleção do espaçamento é proporcionar a cada árvore espaço suficiente para alcançar um crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo. Portanto, a decisão sobre o espaçamento adequado desempenha um papel crucial na determinação do sucesso do plantio florestal. Este aspecto inicial do manejo influencia diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a qualidade das árvores, afetando consequentemente a rentabilidade do plantio.

Espaçamentos maiores podem levar a menores custos de implantação, enquanto, menores espaçamentos resultam em maior produção volumétrica por

unidade de área em rotações mais curtas, porém menor volume por árvore. Além disso, o espaçamento inicial também influencia nas quantidades de ramos das árvores e na conicidade do fuste, afetando conseqüentemente a frequência de tratos culturais requeridos e de desbastes (BOGNOLA, BELLOTE, 2014).

A literatura destaca a importância da escolha do espaçamento em um povoamento florestal (SIMÕES et al., 1976; GOMES et al., 1997; LEITE et al., 2006; NOGUEIRA et al., 2008; PAULESKI et al., 2010; LIMA et al., 2013). Sanqueta et al. (1998) concluíram que, espaçamentos com menor densidade (2,5 m x 2,8 m; 2,5 m x 4,4 m) são os mais recomendáveis para a produção de madeira para laminados. Em relação ao volume de madeira para celulose, esses autores encontraram que os espaçamentos de 2,5 m x 1,2 m ou 2,5 m x 2,0 m são os mais recomendáveis.

Nesse contexto, a realização de estudos de longo prazo que analisem de maneira aprofundada os efeitos principais e interativos da densidade inicial revelam-se de grande importância (PRETZSCH et al., 2019). Dessa forma, é importante avaliar os impactos nos custos de plantio, na manutenção da floresta e na qualidade da madeira produzida, como ressaltado por Pacheco et al. (2015). Finalmente, entender como a densidade inicial afeta o comportamento dos diferentes sortimentos produzidos pela madeira, pode contribuir para o planejamento e gestão dos plantios florestais, e conseqüentemente influenciar econômica e ambientalmente o setor de florestas plantadas brasileiro.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar e comparar a influência do espaçamento na produção dos principais atributos dendrométricos e no sortimento de madeira em um experimento de *Pinus taeda* L. com 21 anos de idade e com espaço vital variando de 1,0 a 16,0 m², na região Centro-Sul do Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o efeito do espaçamento na sobrevivência das árvores;
- Analisar a distribuição diamétrica dos tratamentos;
- Determinar e comparar os atributos dendrométricos individuais médios (diâmetro, área transversal, altura total e volume) e por hectare (área basal e volume) nos nove espaçamentos do experimento;
- Avaliar e comparar os sortimentos médios produzidos em cada tratamento;
- Avaliar as receitas brutas dos sortimentos para a floresta em pé produzidos em cada espaçamento.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O GÊNERO *Pinus*

O gênero *Pinus* é uma árvore conífera pertencente à família *Pinaceae*, conhecida popularmente como pinheiro americano e pinheiro amarelo (KÖHLER, 2013). Existem mais de 100 espécies o gênero *Pinus*, sendo *Pinus elliottii* Engelm e *P. taeda* L. as duas espécies mais comuns nos plantios do Sul do Brasil (VASQUES et al., 2007), onde se concentram 89% da produção de *Pinus* do país (IBÁ, 2023).

O *Pinus* foi introduzido no Brasil há mais de um século, com diversas finalidades, inicialmente, ornamentais e depois para a produção de madeira. A primeira espécie que se tem conhecimento no Brasil é o *Pinus canariensis* das Ilhas Canárias, que foi trazida por volta dos anos de 1880 para o estado do Rio Grande do Sul. Em 1948, com objetivos de conduzir alguns experimentos no País, o Serviço Florestal do Estado de São Paulo trouxe as espécies americanas, também conhecidas como "pinheiros amarelos", que incluíam o *P. taeda* (SHIMIZU, 2006).

As plantações de *Pinus* no Brasil, foram impulsionadas por incentivos fiscais durante as décadas de 1970 e 1980, que levaram a um aumento expressivo na oferta de madeira. Esse crescimento foi fundamental para o desenvolvimento da indústria florestal no País. Inicialmente, as indústrias de celulose e papel foram as maiores beneficiadas, devido à ampla disponibilidade de madeira resultante dos desbastes. Somente a partir de meados da década de 1990, com a maturidade das plantações, as indústrias de madeira sólida começaram a se desenvolver de forma significativa (SHIMIZU, 2006).

As plantações de *Pinus* correspondem a 19% da área plantada do Brasil. O Paraná lidera com a maior área plantada, uma extensão de 713 mil hectares, seguido por Santa Catarina com 701 mil hectares, Rio Grande do Sul com 282 mil hectares. Além dos três estados do Sul, estados de outras regiões também possuem área de plantios de *Pinus*, como São Paulo, Minas Gerais, Goiás, e Mato Grosso do Sul. A produtividade média do pinus no Brasil é estimada em $30,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (com casca), com uma duração média do ciclo de 16,3 anos (IBÁ, 2023).

As plantações de *P. taeda* desempenham um papel crucial, contribuindo para uma ampla gama de setores da sociedade, oferecendo uma série de serviços

ecossistêmicos essenciais, incluindo abastecimento de recursos como madeira sólida, lenha, celulose, resina e cogumelos. Esses recursos são fundamentais para diversas indústrias, como as alimentícias, química, farmacêutica, biorrefinarias, entre outras. Além disso, as plantações de *Pinus* desempenham um papel importante na regulação ambiental, contribuindo para o controle de erosão, regulação hidrológica, armazenamento de carbono e fornecendo habitat para diversas espécies. Assim, a utilização sustentável do *P. taeda* oferece uma série de benefícios econômicos, sociais e ambientais (RODRIGUES et al., 2013; TORRES et al., 2021).

3.2 EFEITOS DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO DE ATRIBUTOS DENDOMÉTRICOS

O espaçamento entre árvores é uma ferramenta importante na silvicultura, pois influencia a sequência de futuros tratamentos silviculturais e os atributos do povoamento na idade de colheita. Botelho (1996) enfatizou a necessidade de considerar a qualidade do sítio, as características específicas da espécie, os objetivos do manejo e as condições de mercado ao recomendar espaçamentos para plantios florestais, argumentando que essa abordagem pode mitigar problemas de competição excessiva.

A escolha correta do espaçamento para o plantio florestal é de extrema importância no manejo, pois influencia todo o comportamento da floresta, uma vez que, a densidade de plantio interfere em como recursos essenciais como, água, luz e nutrientes são distribuídos no povoamento florestal (BOTELHO, 1998). Binkley (2002) também ressaltou que arranjos e espaçamentos mal selecionados podem resultar em maior competição por recursos como água, luz e nutrientes, afetando negativamente a uniformidade do crescimento das árvores e dessa forma, exerce impacto em toda a cadeia produtiva da madeira, desde a formação da floresta, tratamentos silviculturais, qualidade da madeira, até a colheita florestal, e conseqüente nos custos de produção (SIMÕES et al., 1976).

Corroborando com estes fatos, Stape (1995) considerou que o espaçamento além de exercer influência no comportamento individual das árvores e nas propriedades específicas de cada uma, interfere também no crescimento do conjunto. Por isso, a escolha do espaçamento é tão importante, considerando que tem como

principal objetivo encontrar o espaço suficiente para que a árvore possa se desenvolver e obter um crescimento máximo e com qualidade. No entanto, muitas vezes os espaçamentos para crescimento florestal são determinados de maneira empírica, tendo como base as práticas silviculturais comuns do local (CHIES, 2005).

Schneider (1993) destacou que a seleção do espaçamento no plantio florestal deve ser alinhada aos objetivos específicos do manejo, pois a densidade do povoamento desempenha um papel crucial na determinação da produtividade do local, sendo um fator que pode ser gerido pelo silvicultor ao longo do desenvolvimento da floresta. Essa visão é reforçada por Pinkard e Neilsen (2003), que enfatizaram a importância da escolha de diferentes espaçamentos para otimizar a produção de diversos produtos resultantes do plantio, como polpa, madeira e biomassa. Eles destacaram que o espaçamento inicial exerce uma influência significativa no tamanho e na qualidade das toras, sendo um fator determinante nesse processo.

Blanco et al. (1988) ao estudarem *P. caribaea* em cinco diferentes espaçamentos também enfatizaram que a seleção cuidadosa do espaçamento é importante, sugerindo que 3,0 m x 2,5 m pode resultar em melhor desempenho em termos de altura e diâmetro, destacando a necessidade de considerar fatores específicos da espécie e do local. No estudo de Botelho (1998) foi ressaltado historicamente que o Pinus tem sido plantado no Brasil com espaçamentos de 2,0 m x 2,0 m; 2,5 m x 2,5 m e 3,0 m x 1,5 m.

A pesquisa desenvolvida por Leite et al. (2006) evidenciou a influência dos espaçamentos no crescimento na área basal por hectare, diâmetro quadrático e volume por árvore aos 14 anos em povoamentos de *P. taeda*. Também para *P. taeda*, Lima et al. (2013), consideraram que espaçamentos menores devem ser utilizados para otimizar a produção volumétrica, mesmo com diâmetros menores, e sugere a escolha de espaçamentos mais amplos para produzir árvores com diâmetros maiores.

Gomes et al. (1997) quantificaram o volume total e para serraria por hectare aos 8,75 anos em diferentes densidades de plantio de *P. taeda*, avaliando o efeito do índice de sítio e do espaçamento inicial na produção volumétrica e no sortimento futuro. Eles concluíram que espaçamentos maiores são melhores quando se quer produzir madeiras para fins nobres como Laminação e Serraria. Contudo, se o objetivo for a utilização de biomassa ou de celulose, espaçamentos menores podem maximizar

a produção. Além disso as empresas geralmente levam em consideração a mecanização da implantação e da colheita florestal.

Nogueira et al. (2008) também observaram que espaçamentos iniciais mais amplos resultam em maior conicidade sob regime de alto fuste sem desbaste para árvores de *P. taeda*. Quando se trata da produção volumétrica, a literatura evidencia uma relação inversa entre o volume por árvore e o volume por área, como indicado por Sereghetti et al. (2015) que concluíram que, espaçamentos maiores resultam em um maior volume por árvore, enquanto espaçamentos menores proporcionam maiores volumes por unidade de área.

Na pesquisa feita por Smith e Strub (1991), em espécies de *Pinus* nos Estados Unidos, os autores identificaram que os espaçamentos de 2,4 m x 2,4 m a 3,0 m x 3,0 m são os melhores, pois essa faixa de espaçamento não apenas promove um bom crescimento das árvores, mas também facilita o acesso de equipamentos durante operações de manejo e manutenção do povoamento.

Pacheco et al. (2015) concluíram que o espaçamento entre árvores influencia significativamente a área basal (G) e o volume por hectare em plantios de *P. taeda*, com diferenças entre tratamentos observadas a partir do quinto ano de idade das árvores. Além disso, eles observaram que espaçamentos de cerca de 7,5 m² podem ser recomendados quando ainda não há decisão definitiva sobre o destino final do produto, permitindo flexibilidade entre os regimes de manejo para pulpwood ou utility.

Paulino (2012) em seu estudo que investigou os efeitos do espaçamento e da idade das árvores em diversos atributos de plantio de eucalipto concluiu que espaçamentos menores promovem maior crescimento em volume e biomassa por hectare, além de maior área basal, correlacionando-se positivamente com a densidade de plantio. Esse autor acrescentou que economicamente, os espaçamentos menores proporcionaram rotações técnicas e econômicas mais curtas, com o espaçamento de 3,0 m x 1,5 m, destacando-se como a opção mais favorável em termos de Valor Presente Líquido (VPL) e Benefício-Custo (BPE) para a produção de madeira em pé.

Lima (2014) ao estudar o crescimento, biomassa e carbono de *P. taeda*, aos nove anos de idade no mesmo experimento deste trabalho, concluiu que o crescimento em diâmetro (DAP), área transversal, área basal e volume por árvore e hectare foram significativamente influenciados pelo espaço vital, mas, a altura total

não foi afetada, como esperado. Leite et al. (2006) também observaram em seu trabalho com *P. taeda* que o espaçamento interferiu no crescimento em diâmetro, mas não em altura, até os oito anos de idade.

3.3 SORTIMENTO FLORESTAL EM PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* L.

Para Arce (2000), o sortimento florestal resume a qualidade e quantidade dos recursos florestais comercializáveis, baseando-se em uma lista de múltiplos produtos e sendo um instrumento crucial para a tomada de decisões na gestão florestal. Para esse autor é importante conhecer, com um grau adequado de acurácia, quantos e quais tipos de produtos podem ser extraídos da floresta, fundamental para a avaliação comercial e o manejo sustentável, essa prática envolve a análise qualiquantitativa da floresta em pé para obter diversos multiprodutos, conforme dimensões específicas de diâmetro e comprimento.

Silva e Silva (1982) definiram sortimento como o "seccionamento" preciso do fuste da árvore em toras, processo essencial para otimizar a produção de variados produtos madeireiros. Souza (2007) complementou que as funções de afilamento são eficazes na quantificação dos sortimentos dos povoamentos florestais, permitindo modelar o perfil dos fustes das espécies.

Queiroz (2006) explicou que o sortimento envolve o seccionamento da árvore com base em dimensões de diâmetro e comprimento, onde maiores dimensões resultam em peças de maior valor comercial. As equações que descrevem o fuste são cruciais para criar tabelas de sortimentos, reproduzindo valores diamétricos em diferentes alturas ao longo do tronco.

Equações de afilamento são ferramentas cruciais nesse processo, permitindo a estimativa precisa de diâmetros e volumes em diferentes alturas ao longo do tronco. Bernardi et al. (2021) e Mora et al. (2014) afirmaram que essas funções são modelos flexíveis que permitem estimar diâmetros a qualquer altura e calcular volumes parciais, totais e comerciais do tronco. Isso maximiza o aproveitamento da árvore, quantificando a matéria-prima de acordo com suas dimensões e qualidade para múltiplos usos (MÜLLER; FINGER; SCHNEIDER, 2005).

A qualidade do sítio é um fator determinante no sortimento florestal. Kohler et al. (2014) enfatizaram que melhores sítios proporcionam toras de maiores dimensões

e favorecem o crescimento rápido das árvores. Essa dinâmica se torna um diferencial econômico significativo após o 13º ano. David et al. (2017) ao estudarem o impacto de regimes de desbastes e da qualidade dos sítios na área basal, no volume de fustes e no sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. concluíram que sítios com maior capacidade produtiva geram maior proporção de volume destinado a sortimentos de maior valor comercial, enquanto essa proporção diminui em sítios menos produtivos. A pesquisa também revelou que a variação no peso do desbaste não teve uma influência significativa no volume por classe de sortimento.

Estudos sobre o rendimento de diferentes sortimentos também são fundamentais. Dobner Júnior et al. (2012) avaliaram toras de *P. taeda* em serraria e concluíram que os benefícios econômicos percentuais dos sortimentos finos (20 a 25 cm) e grossos (>45 cm) são comparáveis entre si e superiores aos sortimentos com diâmetros intermediários (25 a 35 cm). Sortimentos com diâmetros entre 35 e 45 cm apresentaram benefícios econômicos percentuais semelhantes aos das classes adjacentes.

Figueiredo Filho (1991) observou que, em povoamentos de *P. elliottii*, apenas 6,21% do volume total podia ser utilizado para laminado aos 15 anos, aumentando para 33,09% aos 19 anos. Isso demonstra a importância de entender a dinâmica do sortimento para decidir o momento adequado para realizar desbastes ou definir a rotação do povoamento.

Para destinar a produção florestal a multiprodutos, é importante entender as práticas silviculturais que influenciam o ritmo de crescimento e as dimensões do fuste. Entre essas práticas, a escolha do espaçamento é uma decisão fundamental que afeta diretamente o produto final (LIMA, 2018). Espaçamentos mais amplos reduzem a competição por recursos, promovendo a formação de árvores com maior crescimento diamétrico, tornando a madeira mais adequada para Serraria e Laminação (HÉRBET et al., 2016). Porém menores espaços vitais resultam em maiores volumes por área e árvores com diâmetros menores, sendo mais apropriadas para fins energéticos (GUERRA et al., 2014).

Cruz (2020) ao estudar um plantio de *P. taeda* de 37 anos em Campo Belo do Sul, estado de Santa Catarina, para verificar a influência de diferentes intensidades de desbastes na produção de sortimentos de madeira, observou que intervenções mais fortes aumentaram a proporção de volume para as maiores classes de Serraria

e Laminação, enquanto o tratamento sem desbaste favoreceu o desenvolvimento de toras finas e maior volume em classes intermediárias. Os tratamentos apresentaram concentração de 30% para Laminação, 78% para Serraria e 2% para madeira para Processo. A análise do Valor Presente Líquido (VPL) indicou viabilidade econômica para todos os tratamentos, com maiores retornos para intervenções mais intensas, como nos tratamentos com desbaste médio/forte (T5) e com desbaste forte (T7).

Sanquetta et al. (2004) estudaram o impacto de cinco regimes de desbaste e cinco densidades de plantio na produção volumétrica de madeira de *P. taeda* destinada à indústria de celulose e concluíram que, embora tenham sido observadas variações numéricas entre os regimes de manejo testados, muitas dessas diferenças não foram estatisticamente significativas em relação à produção de madeira para celulose.

Investimentos em plantios florestais voltados para a obtenção de multiprodutos da madeira são estratégias eficazes para garantir um fluxo contínuo de matéria-prima e a rentabilidade econômica da operação (LIMA, 2017). Estudar e quantificar os multiprodutos da floresta é de suma importância, considerando que, interfere diretamente no planejamento do manejo florestal (KOHLENER, 2013). Segundo Assis (2000) as oportunidades proporcionadas pelo sortimento permitem um planejamento eficiente da produção, logística e comercialização, sem acarretar custos adicionais para o inventário florestal.

Jorge e Lara (1993) também destacaram que estudos sobre sortimento florestal contribuem para avaliação do potencial madeireiro da floresta e conseqüentemente influenciam o planejamento do manejo, o dimensionamento de unidades de processamento mecânico da madeira e a comercialização de madeira serrada. Dessa forma, consideraram que, uma gestão eficiente e sustentável dos recursos florestais está diretamente alinhada com o conhecimento do potencial madeireiro da floresta.

Bonazza et al. (2022) observaram que idade e sortimento de *P. taeda* têm efeito significativo com a densidade verde da madeira, tendo a madeira mais velha um valor mais elevado. Lima (2014) ao estudar crescimento, biomassa e carbono de *P. taeda* em função do espaço vital sugeriu que um espaço de 7,5 m² é ideal quando o destino final do produto ainda não foi decidido, permitindo a flexibilidade de produção de biomassa ou multiprodutos.

3.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA PRODUÇÃO MADEIREIRA EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

A escolha do espaçamento inicial no florestamento é importante devido ao impacto direto nos custos de implantação e na eficiência operacional da floresta já que define a quantidade de insumos necessários por unidade de área e influencia a frequência e intensidade das atividades de manejo ao longo do ciclo produtivo (MORAIS, 2006).

No contexto econômico, critérios como Valor Presente Líquido (VPL), Razão Benefício/Custo (B/C), Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Esperado da Terra (VET) e Custo Médio de Produção (CMP_r) são amplamente utilizados para avaliar a viabilidade financeira de projetos florestais (Silva e Fontes, 2005). Esses indicadores permitem uma análise detalhada da rentabilidade ao longo do tempo, considerando a variação do capital investido e os retornos esperados.

Além dos aspectos silviculturais, a análise econômica desempenha um papel crucial na avaliação de projetos florestais. Lopes (1990) salienta que decisões estratégicas como idade econômica de corte, espaçamento entre plantas, manejo de adubação, época e intensidade dos tratamentos culturais, além da escolha da espécie, devem ser embasadas em simulações que considerem critérios técnico-econômicos. Isso proporciona uma avaliação mais precisa e segura das alternativas disponíveis.

Um exemplo concreto é o estudo de Pedroso Filho et al. (2016), que investigaram a viabilidade econômica de doze projetos de florestamento com *Eucalyptus grandis* para produção de lenha, variando os espaçamentos iniciais de plantio. Os resultados indicaram que o espaçamento inicial teve um impacto significativo no desenvolvimento das árvores e nos custos de implantação. Espaçamentos de 2,0 m x 2,5 m e 3,0 m x 2,5 m foram identificados como os mais rentáveis, cada um adequado para diferentes estratégias de manejo florestal. Por outro lado, espaçamentos menores que 3,75 m² foram desaconselhados devido aos riscos econômicos elevados, enquanto espaçamentos maiores que 9,00 m² foram considerados subutilizados em relação ao potencial do sítio.

Cordeiro (2009) explorou a rentabilidade de plantios de *P. elliotii* sob diferentes sistemas de manejo: produção de madeira, produção de madeira e resina, e produção exclusiva de resina. Utilizando como critérios econômicos; VPL, BPE e TIR considerou

que todos os projetos foram considerados viáveis, com a produção de resina demonstrando ser a mais rentável, seguida pela produção de madeira e resina, e por último a produção exclusiva de madeira.

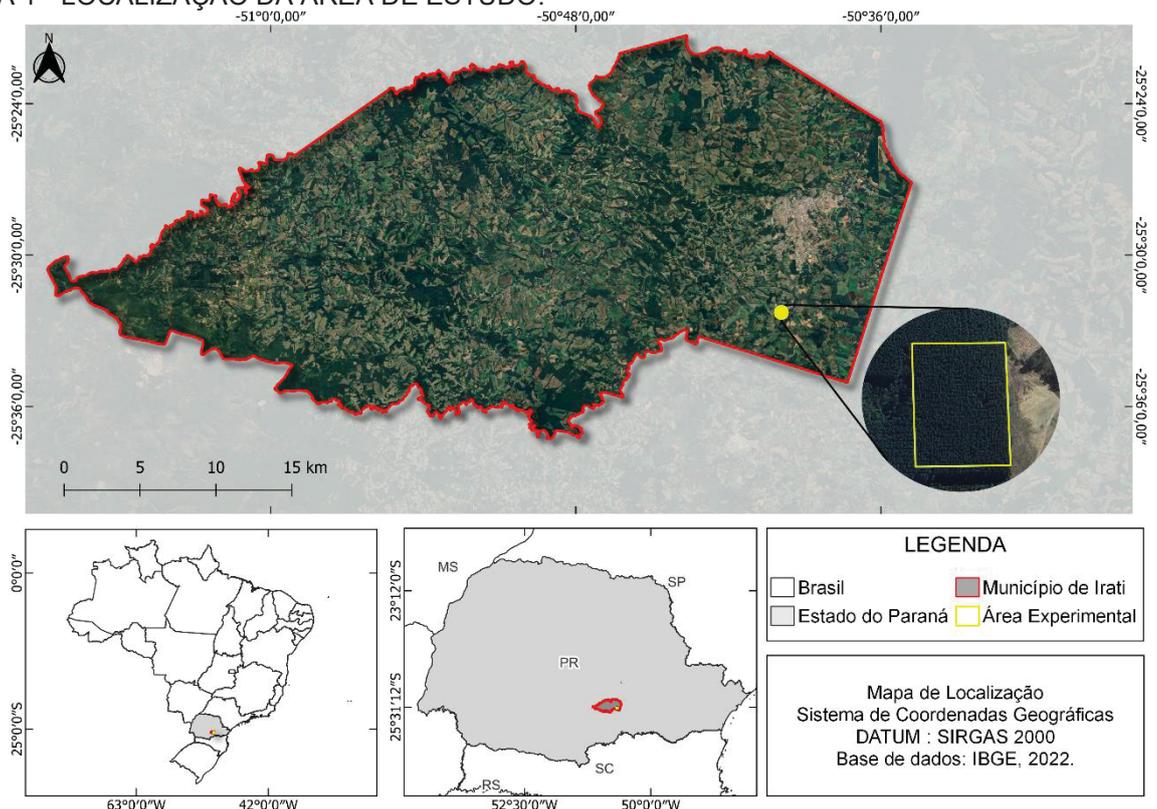
4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Os dados são provenientes de um experimento instalado no ano de 2002 na Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, estado do Paraná (Figura 1) distante 156 km de Curitiba (IRATI, 2020).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é definido como Cfb, Subtropical Úmido Mesotérmico, de verões frescos, geadas severas e frequentes, sem estação seca (IAPAR, 2020). A temperatura média anual é de 16 °C e a precipitação média anual é de 1.200 mm.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.



FONTE: A autora (2024).

O município de Irati apresenta topografia ondulada e acidentada e solos acinzentados/vermelhos ao Norte e castanhos ao Sul (IRATI, 2020). Segundo Lima et al. (2009) o solo do local do experimento é denominado de Neossolo Regolítico Distroúmbrico Léptico (RRdh), com textura muito argilosa, sendo um sítio de média produtividade para a produção de *P. taeda*.

4.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em 2002, no Campus Universitário de Irati, estado do Paraná, com objetivo de avaliar o crescimento de *P. taeda* para nove densidades iniciais. As mudas utilizadas no experimento foram produzidas, a partir de pomar clonal. O preparo do solo foi realizado com grade florestal, seguida de coveamento com sacho. O controle de formigas foi feito com uso de iscas pouco antes do plantio e repetido uma vez durante o primeiro ano. Um ano após o plantio foi realizada a limpeza da área por meio de coroamento ao redor das plantas e capina nos espaços entre blocos, repetida anualmente.

Em função da declividade do terreno, o experimento foi planejado usando delineamento em blocos casualizados com cinco repetições, dispostos perpendiculares à declividade. Foram utilizados nove espaçamentos (tratamentos) com espaços vitais entre 1,0 até 16,0 m², (1,0 m x 1,0 m; 2,0 m x 1,0 m; 2,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,5 m x 3,0 m; 4,0 m x 3,0 m; 4,0 m x 3,5 m e 4,0 m x 4,0 m) conforme Tabela 1 (INOUE et al. 2011).

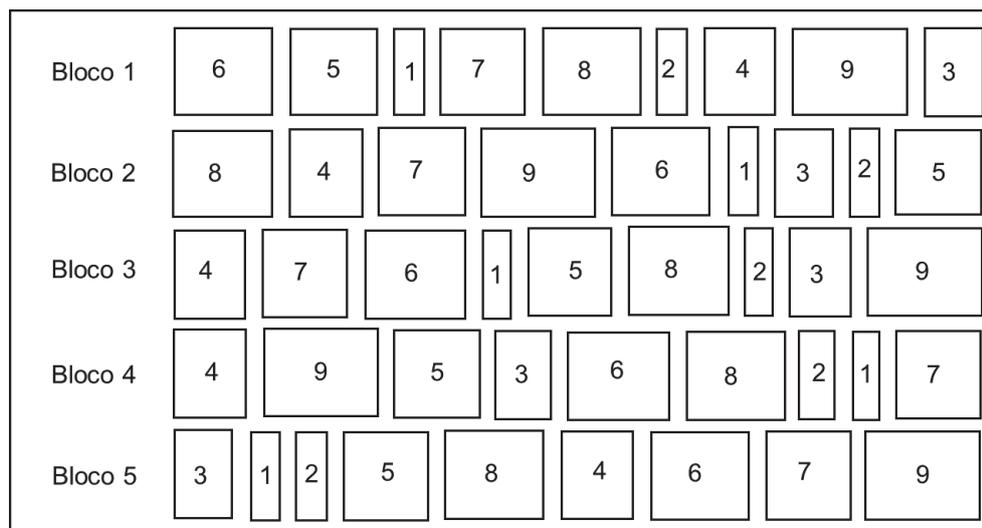
TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DO EXPERIMENTO.

Tratamento	Espaçamento (m x m)	Espaço vital (m ²)	Número de árvores por tratamento	Número de Árvores ha ⁻¹
1	1,0 x 1,0	1,0	200	10.000
2	2,0 x 1,0	2,0	104	5.000
3	2,0 x 2,0	4,0	104	2.500
4	3,0 x 2,5	7,5	72	1.333
5	3,0 x 3,0	9,0	72	1.111
6	3,0 x 3,5	10,5	72	952
7	4,0 x 3,0	12,0	56	833
8	4,0 x 3,5	14,0	56	714
9	4,0 x 4,0	16,0	56	625

FONTE: PACHECO (2013).

Na Figura 2, apresenta-se a disposição dos tratamentos (1 a 9) e blocos (1 a 5) do experimento.

FIGURA 2 - DISPOSIÇÃO DAS PARCELAS DO EXPERIMENTO E RESPECTIVAS DIMENSÕES PROPORCIONAIS DE OCUPAÇÃO DO ESPAÇO NO TERRENO.



TRATAMENTOS: 1 (1,0 m X 1,0 m); 2 (2,0 m X 1,0 m); 3 (2,0 m X 2,0 m); 4 (3,0 m X 2,5 m); 5 (3,0 m X 3,0 m); 6 (3,5 m X 3,0 m); 7 (4,0 m X 3,0 m); 8 (4,0 m X 3,5 m); 9 (4,0 m X 4,0 m);
 Fonte: LIMA et al. (2011) com adaptações.

4.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Para a avaliação das variáveis dendrométricas, foram inventariados os 9 tratamentos em novembro de 2023, quando a floresta tinha 21 anos de idade. Foi retirada uma linha de bordadura de cada tratamento para evitar efeitos de borda. A circunferência a 1,3 m do solo (CAP) foi medida com fita métrica comum em todas as árvores. A altura total (h, em metros) foi mensurada em trinta indivíduos por tratamento utilizando o hipsômetro Haglöf.

Essas alturas foram utilizadas para ajustar os modelos hipsométricos que estão na Tabela 2. Os cinco modelos hipsométricos testados foram escolhidos com base em sua relevância na literatura científica, bem como em estudos anteriores que demonstraram sua eficácia em estimar alturas de árvores. Cada modelo possui uma formulação matemática específica que descreve a relação entre altura e diâmetro do tronco, levando em consideração diferentes suposições e abordagens teóricas.

TABELA 2 - MODELOS HIPSONOMÉTRICOS AJUSTADOS PARA A ESPÉCIE *Pinus taeda* L. COM 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Modelo	Autor
$\ln(h) = b_0 + b_1 \ln(d) + \varepsilon_i$	Stoffels (1)

$$\ln(h) = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{d}\right) + \varepsilon_i \quad \text{Curtis (1967)} \quad (2)$$

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + \varepsilon_i \quad \text{Polinomial de 2º grau} \quad (3)$$

$$h = b_0 + b_1 \ln(d) + \varepsilon_i \quad \text{Henricksen (1950)} \quad (4)$$

$$h = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon_i \quad \text{Polinomial de 1º grau} \quad (5)$$

Onde: b_i = coeficientes dos modelos; h = altura total (m); d = diâmetro à altura do peito (cm); \ln = Logaritmo neperiano; ε_i = erro.

Para selecionar o modelo mais apropriado, foram aplicadas as estatísticas Índice de ajuste de Schlaegel (I.A.), Erro Padrão de Estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$), valor de F, e análise gráfica. O Índice de ajuste de Schlaegel foi necessário para comparar os valores de ajustes, pois em alguns modelos a variável dependente não é a altura total.

$$I.A. = 1 - \frac{n-1}{n-p} \frac{SQ_{residuo}}{SQ_{total}} \quad (6)$$

Em que:

SQ = Soma de quadrados, recalculado para a variável altura total (h).

n = n° de observações.

p = n° de variáveis independentes ou n° de coeficientes.

* Para as equações Logarítmicas foi recalculado o Erro Padrão de Estimativa para a variável de interesse (h).

A discrepância logarítmica dos modelos logarítmicos foi corrigida pelo fator de correção de Meyer (Equação 8), conforme descrito por Machado et al. (2002).

$$S_{yX} = \sqrt{\frac{\sum(y-\hat{y})^2}{n-p}} = S_{yX} \% = \frac{S_{yX}}{\bar{y}} * 100 \quad (7)$$

Em que:

y = altura observada

\hat{y} = altura estimada

n = número de observações

p = número de coeficientes

\bar{y} = média aritmética das alturas

$$\text{Fator de Meyer} = e^{0,5S_{yX}^2} \quad (8)$$

Em que:

e = 2,718281828

S_{yX} = erro padrão de estimativa (m^3).

Foram calculados os seguintes parâmetros médios para analisar a estrutura da floresta, sendo eles: diâmetro médio aritmético (\bar{d}); diâmetro médio quadrático (dg);

altura total média (\bar{h}); área transversal média (\bar{g}); área basal (G) volume individual por árvore (v) e volume total com casca por hectare (V) (Tabela 3).

TABELA 3 - ATRIBUTOS PARA AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

Variável	Fórmula
Diâmetro médio aritmético (cm)	$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$ (9)
Diâmetro médio quadrático (cm)	$dg = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$ (10)
Altura total média (m)	$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$ (11)
Área transversal média (m ²)	$\bar{g} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi d_i^2}{40000} \right)}{n}$ (12)
Área basal (m ² ha ⁻¹)	$G = \sum_{i=1}^n g_i$ (13)

Em que: d_i = diâmetro a 1,30 m do solo da i -ésima árvore, em cm; n = número total de árvores; h_i = Altura total da i -ésima árvore, em m; $\pi = 3,141593$; g_i : área transversal da i -ésima árvore, em m².

Além disso, foi determinado o número de árvores sobreviventes nas parcelas aos 21 anos de idade do plantio, o que possibilitou a estimativa da área basal e do volume (incluindo por classes de sortimento) por unidade de área (ha), além de tornar viável a elaboração de gráficos da distribuição diamétrica de cada tratamento. Tendo-se o número de árvores sobreviventes, também foi possível conhecer o percentual de mortalidade até a idade atual dos tratamentos.

Para estimativa dos volumes totais individuais foram utilizadas três funções de afilamento (Tabela 4) ajustadas por Vale (2020) para povoamentos de *P. taeda* existentes ao lado do experimento com aproximadamente a mesma idade, a partir do ajuste do polinômio de 5º grau (14). Os ajustes do modelo de 5º grau foram realizados por essa Autora para os seguintes espaçamentos: Função 1: 2 m x 2 m; Função 2: 3 m x 2 m; e Função 3: 4 m x 2 m. Desta forma, buscando ter estimativas de volume mais acuradas, a Função 1 foi utilizada para os três espaçamentos menores, a Função 2 para os três espaçamentos intermediários e a Função 3 para os três espaçamentos

maiores (Tabela 4). Os volumes por sortimento foram estimados com a integral dessas equações de afilamento.

$$\frac{d_i}{d} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{h}\right) + b_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + b_3 \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + b_4 \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + b_5 \left(\frac{h_i}{h}\right)^5 + \varepsilon_i \quad (14)$$

Em que: d_i = diâmetro (cm) na altura h_i (m); d = diâmetro altura do peito (1,3 m), em cm; h_i = altura i (m) de um determinado diâmetro d_i ; h = altura total da árvore (m); ε_i = erro aleatório do modelo.

TABELA 4 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA O MODELO DE AFILAMENTO DE QUINTO GRAU PARA ESPAÇAMENTOS DIFERENTES DE *Pinus taeda* L. ESTABELECIDOS NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Função	Espaçamento	Coeficientes estimados					Estatística		
		b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	R^2	S_{yx} (%)
1	1,0 m x 1,0 m								
	2,0 m x 1,0 m	1,23087	-3,68282	15,895	-35,601	34,5073	-12,34939	0,99	6,65
	2,0 m x 2,0 m								
2	3,0 m x 2,5 m								
	3,0 m x 3,0 m	1,25157	-3,80107	15,132	-32,297	29,9677	-10,2534	0,991	6,76
	3,0 m x 3,5 m								
3	4,0 m x 3,0 m								
	4,0 m x 3,5 m	1,22688	-3,4678	14,052	-30,908	29,172	-10,0754	0,992	6,53
	4,0 m x 4,0 m								

Em que: R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} (%) = Erro Padrão de Estimativa em porcentagem; b_{is} = coeficientes estimados das funções de afilamento.

FONTE: VALE (2020).

4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO EXPERIMENTO

Foi aplicado o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade de variância nas variáveis diâmetro médio aritmético (\bar{d}), diâmetro médio quadrático (dg), altura média (\bar{h}), área transversal (\bar{g}), área basal (G), volume individual por árvore (v) e volume total com casca por hectare (V). Também foi feito o teste de Kolmogorov-Smirnov para avaliar a normalidade dos dados. Em seguida, os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) para avaliar o efeito do espaçamento e dos blocos sobre as variáveis. Por fim, foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias. Todas as análises foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2023), ao nível de significância de $\alpha = 0,05$.

4.5 AVALIAÇÃO DO SORTIMENTO PRODUZIDO E SEU VALOR ECONÔMICO

Para a análise dos sortimentos de madeira nos diferentes tratamentos foi utilizado o módulo de inventário florestal para florestas plantadas do programa FlorExel®. Este suplemento em planilhas em Excel® estima o volume comercial, por sortimentos e volume total, incluindo volume do fuste, toco e ponteira para o número total de árvores, assim como as estimativas por hectare, usando uma equação de afilamento inserida pelo usuário. Assim, os coeficientes das três equações de afilamento mencionadas no item anterior foram inseridos no programa FlorExel® para as estimativas do volume total com casca e dos sortimentos de madeira.

Os sortimentos foram definidos com base em diâmetros (com casca) mínimos de uso, denominados de “diâmetro de topo” (bitolas) e comprimentos das toras. Os volumes por sortimento produzidos em cada tratamento foram estimados aos 21 anos de idade, com base em informações de bitolas médias para o estado do Paraná (Tabela 5). Para essas estimativas, foi necessário entrar com o DAP e a altura total de cada árvore, além das bitolas dos sortimentos nas funções de afilamento mencionadas.

TABELA 5 - CLASSES DE SORTIMENTO FLORESTAL E RESPECTIVOS PREÇOS PARA *Pinus taeda* L. NO ESTADO DO PARANÁ.

Classe de sortimento	Diâmetro (cm)	Comprimento da tora (m)	Preço (R\$ m⁻³)
Laminação	>35	2,7	390,00
Serraria 2	25 – 35	2,6	290,00
Serraria 1	18 – 25	2,6	195,00
Processo	8 – 18	2,4	80,00

FONTE: Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná – SEAB (2024).

Com base na amostragem de árvores provenientes dos nove diferentes espaçamentos e nos sortimentos produzidos na idade de 21 anos para cada espaço vital, foi calculada a receita bruta do povoamento. As receitas brutas foram obtidas ao multiplicar o volume m³ ha⁻¹ de cada sortimento em cada tratamento estimado aos 21 anos, pelo seu respectivo valor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

Na Tabela 6 encontram-se o número médio por tratamento e por hectare de árvores mortas e sobreviventes em cada um dos nove tratamentos avaliados aos 21 anos de idade. Os resultados dos diferentes tratamentos de densidade inicial demonstram variações na quantidade de árvores que morreram e que sobreviveram. No tratamento com espaçamento de 1,0 m x 1,0 m (densidade inicial de 10.000 árvores por hectare), houve uma mortalidade de 8.507 árvores por hectare (85,1%), enquanto no tratamento com espaçamento de 4,0 m x 4,0 m (densidade inicial de 625 árvores por hectare), a mortalidade foi de apenas 117 árvores por hectare (18,7%).

TABELA 6 - DENSIDADE INICIAL, MORTALIDADE E SOBREVIVÊNCIA POR TRATAMENTO E POR HECTARE OS NOVE ESPAÇAMENTOS ANALISADOS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. COM 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Espaço Vital	Densidade inicial		Mortalidade		Sobrevivência	
	N	N ha ⁻¹	N	N ha ⁻¹	N	N ha ⁻¹
1,0	690	10.000	587	8507	103	1.493
2,0	330	5.000	236	3576	94	1.424
4,0	330	2.500	154	1167	176	1.333
7,5	210	1.333	45	286	165	1.048
9,0	210	1.111	36	190	174	921
10,5	210	952	33	150	177	803
12,0	150	833	21	117	129	717
14,0	150	714	17	81	133	633
16,0	150	625	28	117	122	508

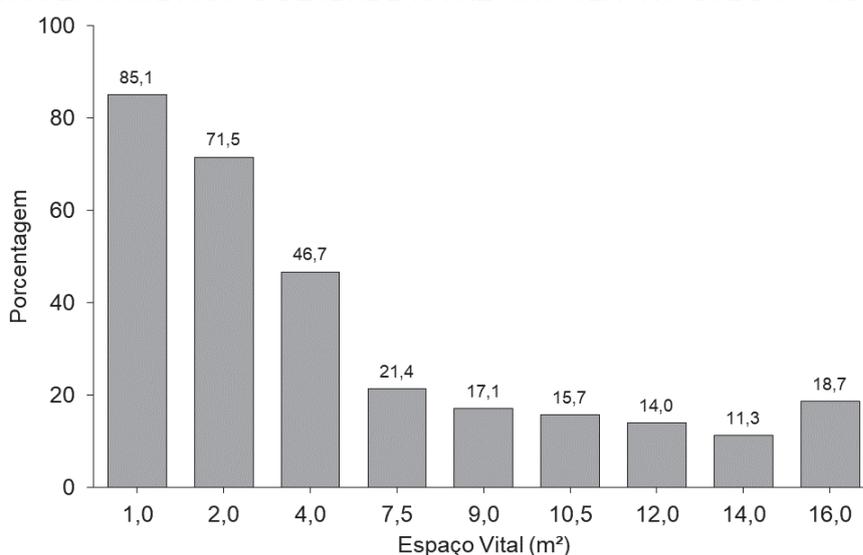
N = número inicial de árvores em cada tratamento; N ha⁻¹ = número de árvores por hectare.

Nos tratamentos de 1 m² e 2 m², a taxa de mortalidade foi alta, como esperado. O tratamento com espaço vital de 1 m² teve uma taxa de mortalidade de 85,1%. Já o tratamento com espaço vital de 2 m² apresentou uma taxa de mortalidade de 71,5%. A maior taxa de mortalidade observada no espaçamento de 1 m x 1 m era esperada, uma vez que a competição entre as árvores é mais intensa nesse tratamento (Figura 3). Leite et al. (2006), ao analisarem os efeitos de diferentes espaçamentos sobre

variáveis em um povoamento de *Pinus* nas idades de 4 a 14 anos, também observaram que a mortalidade foi mais acentuada nos menores espaçamentos.

No tratamento com 4 m² a taxa de mortalidade foi 46,7%. No tratamento com espaço vital de 7,5 m², a mortalidade absoluta foi de 268 árv. ha⁻¹, correspondendo a uma taxa de mortalidade de 21,4%, aproximando-se da taxa de mortalidade dos maiores espaçamentos. A menor taxa de mortalidade (11,3%) foi observada no tratamento de 4 m x 3,5 m (14 m²). Uma maior taxa de mortalidade no tratamento de 16 m² em relação ao de 14 m², como a que ocorreu neste trabalho também foi observada por Pacheco (2013) no mesmo experimento ao estudar os primeiros 9 anos do plantio.

FIGURA 3 - PORCENTAGEM DE MORTALIDADE POR ESPAÇO VITAL EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. COM 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



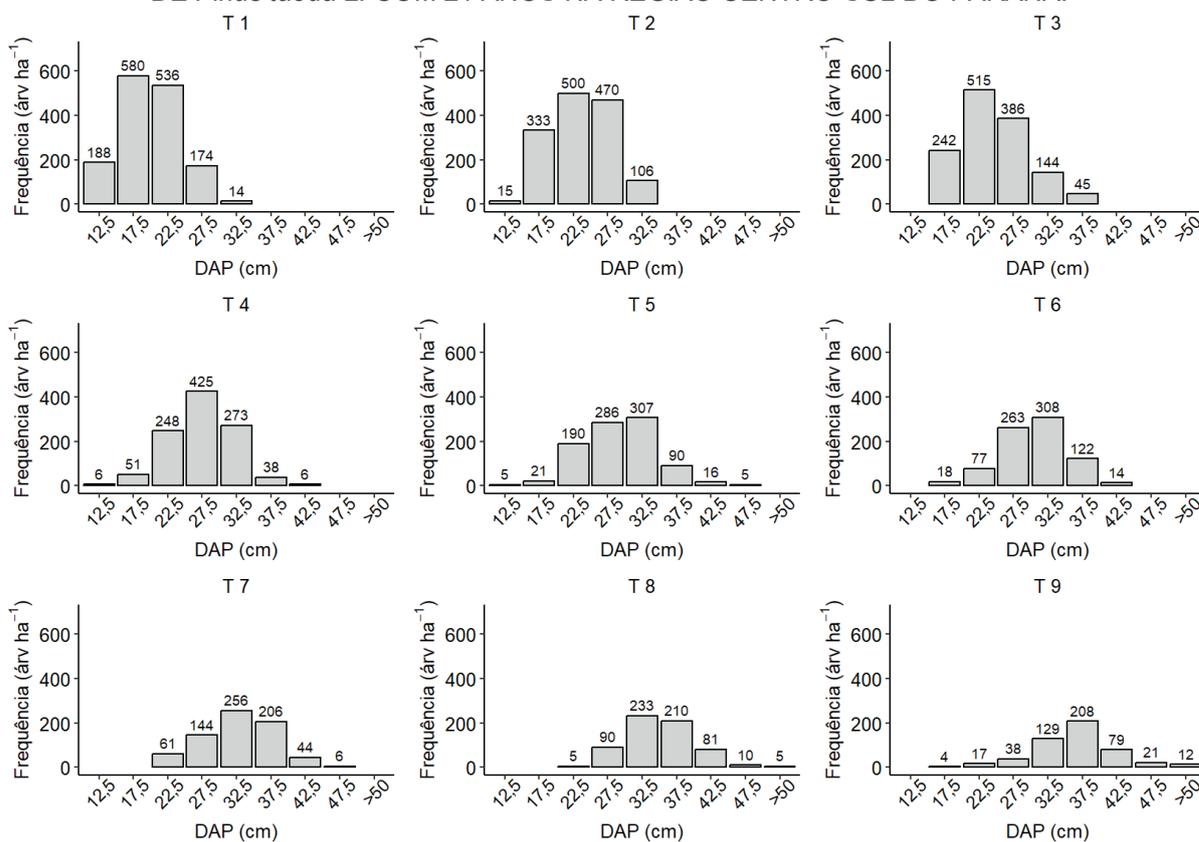
FONTE: A autora (2024).

5.2 DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

A distribuição diamétrica das árvores sobreviventes aos 21 anos de idade (Figura 4) mostra diferenças nas amplitudes dos diâmetros conforme os espaçamentos de plantio. No tratamento com espaçamento de 1,0 m x 1,0 m, o menor diâmetro observado está na classe de 10 a 15 cm ($d_i = 12,5$ cm), com uma frequência de 188 árv. ha⁻¹, enquanto o maior centro de classe é de 32,5 cm, com apenas 14 árv. ha⁻¹, resultando em uma amplitude de 20 cm.

Constata-se assim, que nos tratamentos com espaçamentos mais densos, ocorre maior concentração de árvores com menores diâmetros. No tratamento T1 (1 m x 1m), por exemplo, a classe de 12,5 cm contém 580 árv. ha⁻¹, representando 38,9% da frequência total. Dessa forma o número de árvores contidos no centro de classe de 17,5 cm é 41,43 vezes maior do que o presente na classe de 32,5 cm. Em T2 (2,0 m x 1,0 m), a classe de 15-20 cm possui 500 árv. ha⁻¹ (35,1%) e a classe de 20-25 cm contém 470 árv. ha⁻¹ (33%), enquanto a classe de 10-15 cm representa apenas 1% do total de frequência deste tratamento. Isto sugere que a competição intensa por luz, água e nutrientes limita o crescimento em diâmetro das árvores, resultando em indivíduos com menores diâmetros.

FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA POR TRATAMENTO E POR HECTARE EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. COM 21 ANOS NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



Em que : T1 : 1 m x 1m ; T2 : 2,0 m x 1,0 m ; T3 : 2,0 m x 2,0 m ; T4 : 3,0 m x 2,5 m ; T5 : 3,0 m x 3,0 m ; T6 : 3,0 m x 3,5 m ; T7 : 4,0 m x 3,0 m ; T8 : 4,0 m x 3,5 m ; T9 : 4,0 m x 4,0 m.
 FONTE: A autora (2024).

Os tratamentos com espaçamentos intermediários, como 3,0 m X 2,5 m; 3,0 m X 3,0 m e 3,5 m X 3,0 m, mostram distribuições de diâmetro com frequências maiores nas classes entre 25 e 35 cm. No tratamento T4 (3,0 m x 2,5 m), a classe de 25-30 cm (centro de classe de 27,5 cm) contém 425 árv. ha⁻¹ (40,6%) e a classe de 30-35

cm (centro de classe de 32,5 cm) contém 273 árv. ha⁻¹ (26,1%), já as classes que apresentaram menor frequência de indivíduos apresentaram apenas 6 árv. ha⁻¹. No tratamento T5 (3,0 m x 3,0 m), a classe com maior ocorrência de indivíduos apresenta 46,3% das árvores deste tratamento, já as classes com menor número de ocorrência apresentam apenas 0,5% dos indivíduos.

Em T9 (4,0 m x 4,0 m), a classe de 35-40 (centro de classe de 37,5 cm) cm contém 208 árv. ha⁻¹ e a classe de 40-45 (centro de classe de 42,5 cm) cm contém 79 árv. ha⁻¹. A existência de árvores com DAP maiores que 50 cm nesses tratamentos indicam que o espaço adicional promoveu um alto crescimento em diâmetro (DAP).

Ao comparar a distribuição diamétrica dos tratamentos com menores e maiores espaços vitais, observa-se uma amplitude maior das curvas nos maiores espaçamentos. Em todos os tratamentos, observa-se uma distribuição que se assemelha às curvas normais, contudo com diferentes assimetrias e amplitudes. Com o tempo, a tendência é que as árvores com maior espaço vital desenvolvam diâmetros maiores, levando a uma distribuição diamétrica mais ampla e achatada.

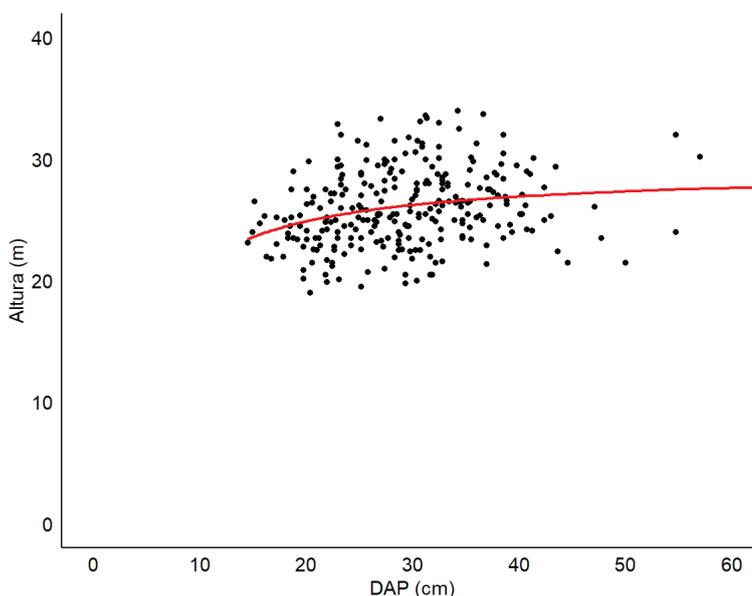
Os resultados indicam que maiores espaçamentos tendem a equilibrar o número de indivíduos nas classes superiores. Os tratamentos com espaçamentos mais densos apresentam maior frequência nas classes iniciais, enquanto tratamentos com espaçamentos intermediários mostram uma distribuição mais homogênea nas classes centrais. Tratamentos com espaçamentos amplos permitem o desenvolvimento de árvores com diâmetros maiores, evidenciando a menor competição por recursos.

Leite et al (2006), ao estudarem os efeitos de diferentes espaçamentos sobre variáveis em um povoamento de *P. taeda* nas idades de 4 a 14 anos no planalto serrano de Santa Catarina, também concluíram que o espaçamento influencia significativamente o diâmetro das árvores. Aos 14 anos, a distribuição dos diâmetros revelou que, nos espaçamentos mais amplos estudados por eles (2,0 x 3,0 e 2,5 x 3,0), a maior ocorrência de indivíduos também foi na classe de 25 cm, semelhante aos encontrados nesse estudo para os tratamentos com os espaçamentos parecidos.

5.3 MODELAGEM DAS RELAÇÕES HIPNOMÉTRICAS POR TRATAMENTO

Ao analisar os dados de altura e diâmetro à altura do peito medidos no inventário florestal (FIGURA 5), verificou-se que, as alturas estão próximas de se tornarem homogêneas independentemente do DAP. Essa relação é esperada uma vez que o plantio já possui 21 anos, e que em geral à medida que as árvores amadurecem, o crescimento em altura tende a se estabilizar, uma vez que, as árvores geralmente alcançam um equilíbrio em relação à competição por luz e outros recursos, resultando em alturas relativamente uniformes em toda a população, independentemente do diâmetro do tronco.

FIGURA 5 - RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA DE UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



FONTE: A autora (2024).

A seleção de modelos hipsométricos foi realizada considerando os resultados dos ajustes dos modelos de regressão para a relação hipsométrica que estão descritos na Tabela 7. Cada modelo é caracterizado por seus coeficientes de regressão e de métricas estatísticas (I.A, S_{yx} (%), F) que avaliam a qualidade do ajuste do modelo aos dados observados.

TABELA 7 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. DE 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Modelo	Coeficientes			I.A	S_{yx} (%)	F_{cal}	Índice de Meyer
	b0	b1	b2				
Polinomial de 1º grau	23,5252	0,0834	-	0,0412	11,975	11,5502	

Curtis	3,3646	-3,1574	-	0,0588	11,865	17,9536	1,00701
Stoffels	2,8834	0,1094	-	0,0530	11,901	15,4974	1,00707
Henricksen	16,464	2,8412	-	0,0542	11,894	15,4158	
Polinomial de 2º grau	17,7388	0,465	-0,0059	0,0752	11,783	10,8981	

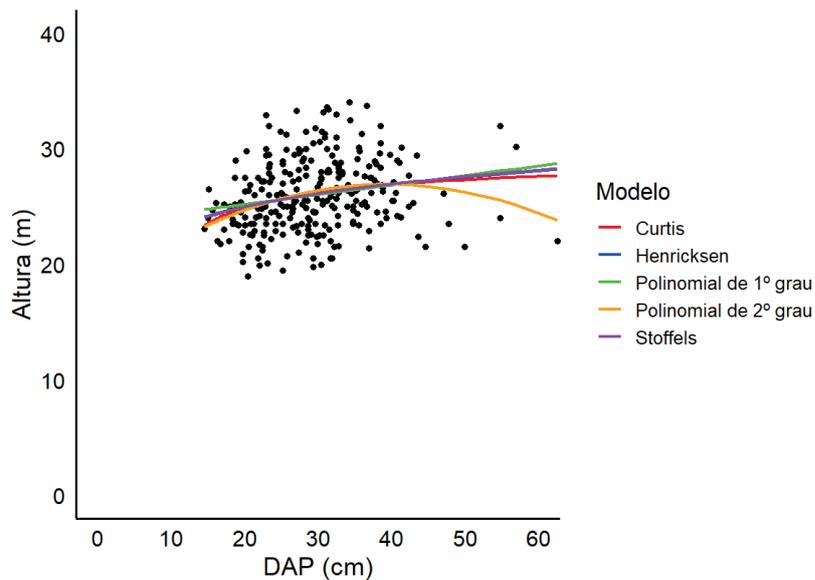
b_i = coeficientes dos modelos; I.A = Índice de Schlaegel; S_{yx} = Erro Padrão de Estimativa; Fcal = F calculado da ANOVA.

FONTE: A autora (2024).

Todos os modelos testados apresentaram valores de I.A relativamente baixos, variando de 0,0412 a 0,0752, podendo ser justificado pela idade do plantio de 21 anos, uma vez que nesse estágio de desenvolvimento é esperado que as alturas das árvores já tenham estabilizado, levando a uma relação altura-diâmetro mais aplainada em relação ao eixo x. Contudo, outras métricas foram testadas para que se pudesse escolher um modelo de melhor performance.

Com base nos critérios estabelecidos todos os modelos apresentaram estatísticas semelhantes, porém o modelo Polinomial de 2º grau apresentou valores um pouco superiores, contudo, ao analisar o gráfico das curvas dos modelos, foi possível perceber uma tendência de estimar alturas menores para as árvores com maiores diâmetros e por isso, o modelo selecionado foi o de Curtis (Figura 6).

FIGURA 6 - COMPORTAMENTO DOS MODELOS HIPSOMÉTRICOS AJUSTADOS PARA UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. DE 21 ANOS DE IDADE NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



FONTE: A autora (2024).

5.4 EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO CRESCIMENTO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

A partir do teste de Bartlett, verificou-se a homogeneidade de variâncias dos dados de; diâmetro médio aritmético (\bar{d}), diâmetro médio quadrático (d_g), altura média (\bar{h}), área transversal (\bar{g}), área basal (G), volume individual por árvore (v) e volume total com casca por hectare (V) (p -valor > 0,05). Além disso, o teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que os dados de todas as variáveis seguem uma distribuição normal (p -valor > 0,05) (Apêndice 1). Com base nesses resultados, os dados foram submetidos às análises subsequentes (análise de variância (ANOVA) e comparação de médias). A ANOVA indicou que não houve diferenças significativas entre os Blocos para nenhuma das variáveis dendrométricas analisadas neste estudo e que, com exceção da altura total, todas as variáveis foram influenciadas pelo espaçamento conforme apresentado no Apêndice 2.

5.4.1 DIÂMETRO MÉDIO ARITIMÉTICO (d)

Como esperado, constatou-se que quanto menor o espaçamento inicial, menores os valores médios de diâmetro médio aritmético, de modo que o tratamento

1 (1,0 m x 1,0 m) apresentou a menor média de diâmetro (20,02 cm) aos 21 anos de idade (TABELA 8). O maior valor médio de diâmetro (36,50 cm) foi observado no tratamento 9 (16 m²), não diferindo estatisticamente do diâmetro médio (34,99 cm) observado para o tratamento 8 (14,0 m² de espaço vital). O maior valor de diâmetro médio foi 1,82 vezes maior que o de menor diâmetro.

Entre os tratamentos intermediários, o tratamento 3,0 m x 2,5 m apresentou diâmetro médio 1,35 vezes maior (27,70 cm) que o tratamento 1,0 m x 1,0 m e um IMA_d de 1,319 cm ano⁻¹. Este espaçamento proporciona um crescimento significativo em diâmetro sem a necessidade de um espaço vital muito grande, podendo ser uma escolha eficiente levando em consideração os objetivos do plantio.

TABELA 8 - DIÂMETRO MÉDIO ARITMÉTICO (\bar{d}) E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

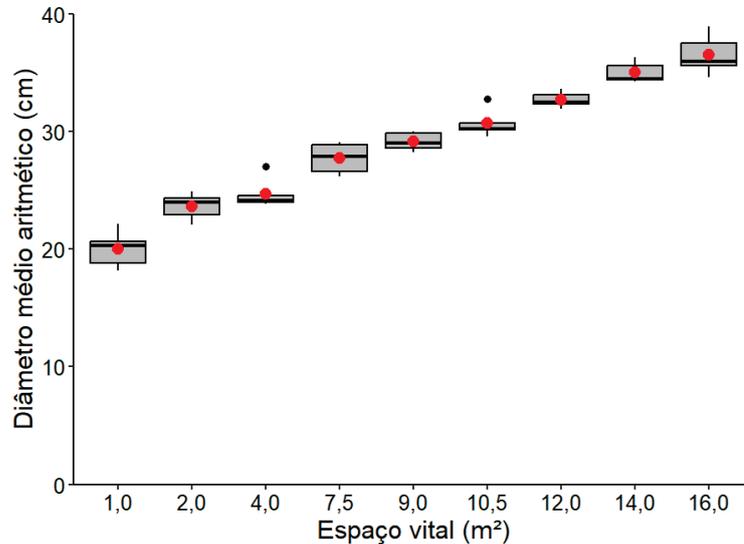
Espaçamento	Espaço Vital (m²)	\bar{d} (cm)	IMA_d (cm ano⁻¹)
1,0 m x 1,0 m	1,0	20,02 g	0,953
2,0 m x 1,0 m	2,0	23,62 f	1,125
2,0 m x 2,0 m	4,0	24,70 f	1,176
3,0 m x 2,5 m	7,5	27,70 e	1,319
3,0 m x 3,0 m	9,0	29,10 de	1,386
3,0 m x 3,5 m	10,5	30,67 cd	1,461
4,0 m x 3,0 m	12,0	32,68 bc	1,556
4,0 m x 3,5 m	14,0	34,99 ab	1,666
4,0 m x 4,0 m	16,0	36,50 a	1,738

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

FONTE: A autora (2024).

Esses resultados corroboram com estudos anteriores que também encontraram uma relação positiva entre espaçamento e crescimento do DAP em *P. taeda*. Estudos como os de Lima (2014), Chies (2005), Leite et al. (2006) e Pauleski (2010) observaram que espaçamentos maiores proporcionam maior desenvolvimento em diâmetro (DAP) ao longo do tempo. Outros trabalhos confirmam que maiores espaços vitais proporcionam maiores diâmetros médios. Elesbão e Schneider (2011) mostraram que a prática de desbaste também influencia significativamente no crescimento do diâmetro. Na Figura 7, pode-se visualizar a distribuição do diâmetro médio aritmético das árvores em diferentes tratamentos.

FIGURA 7 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO MÉDIO ARITIMÉTICO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



Em que: Círculo vermelho nos boxplots representam a média de cada tratamento.
 FONTE: A autora (2024)

5.4.2 DIÂMETRO MÉDIO QUADRÁTICO (dg)

O efeito do espaçamento sobre a variável dg foi similar ao observado para o diâmetro médio aritmético, como esperado. O menor diâmetro quadrático (20,43 cm) foi observado no tratamento com espaçamento de 1,0 m x 1,0 m, enquanto o maior diâmetro quadrático (37,02 cm) foi encontrado no tratamento com maior espaçamento de 4,0 m x 4,0 m, sendo 1,81 vezes maior que o valor encontrado para 1,0 m², indicando que árvores com mais espaço vital têm um crescimento em diâmetro significativamente maior (TABELA).

Embora tratamentos com maior espaço vital apresentem maiores incrementos em diâmetro, tratamentos intermediários como 3,0 m x 2,5 m e 3,0 m x 3,0 m podem ser alternativas interessantes a serem utilizados, pois apresentam são respectivamente 1,37 e 1,45 vezes maior em comparação ao menor valor de dg e oferecerem um equilíbrio entre crescimento das arvores e espaço a ser utilizado.

TABELA 9 - MÉDIAS DE DIÂMETRO QUADRÁTICO (dg) E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

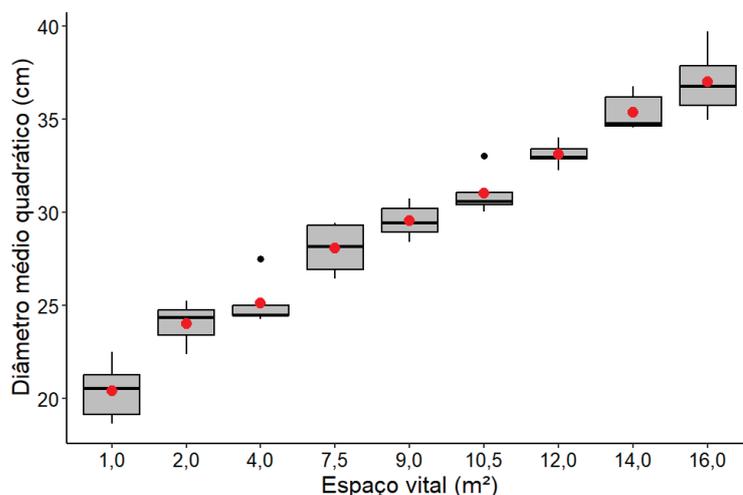
Espaçamento	Espaço Vital (m ²)	dg (cm)	IMA _d (cm ano ⁻¹)
1,0 m x 1,0 m	1,0	20,43 g	0,9726
2,0 m x 1,0 m	2,0	24,03 f	1,1441
2,0 m x 2,0 m	4,0	25,15 f	1,1975
3,0 m x 2,5 m	7,5	28,07 e	1,3367
3,0 m x 3,0 m	9,0	29,55 de	1,4073
3,0 m x 3,0 m	10,5	31,03 cd	1,4778
4,0 m x 3,0 m	12,0	33,12 bc	1,5770
4,0 m x 3,5 m	14,0	35,38 ab	1,6849
4,0 m x 4,0 m	16,0	37,02 a	1,7629

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

FONTE: A autora (2024)

Esses resultados se devem ao fato de que, em espaçamentos mais amplos, as árvores têm mais espaço para crescimento individual, resultando em diâmetros maiores em comparação com espaçamentos menores. Espaçamentos reduzidos tendem a apresentar menores diâmetros quadráticos e árvores com menor valor agregado (GOMES, 2023). Pacheco (2013), ao estudar o mesmo plantio deste estudo aos 9 anos, também encontrou uma relação direta entre espaçamentos mais amplos e maiores valores de diâmetro quadrático (*dg*). O maior valor médio de *dg* encontrado por ele foi de 23,57 cm, observado no espaçamento de 14,0 m². No boxplot é possível visualizar como as médias de *dg* (pontos vermelhos) se comportam de forma crescente em função do espaçamento (Figura 8).

FIGURA 8 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO MÉDIO QUADRÁTICO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



Em que: Círculo vermelho nos boxplots representam a média de cada tratamento.

FONTE: A autora (2024)

5.4.3 EFEITO DO ESPAÇO VITAL NA ÁREA TRANSVERSAL (*g*)

Os tratamentos com espaços vitais mais amplos resultaram, assim como o diâmetro médio aritmético e o quadrático, os maiores valores médios de área transversal (\bar{g}) (Tabela 10; Figura 9). O maior valor médio (0,10979 m²) observado no tratamento de 16,0 m², não apresentou diferença estatística em relação ao tratamento com 14,0 m², de acordo com o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Vale ressaltar que as médias observadas nos tratamentos com os dois menores espaços vitais (1,0 e 2,0 m²) foram estatisticamente iguais entre si. Portanto, o maior valor de área transversal (0,1079 m²) é 3,33 vezes maior que do que o menor valor de área transversal (0,0329 m²).

Os tratamentos intermediários que também podem ser opções para um bom desenvolvimento em área transversal são os de 3,0 m x 2,5 m e 3,0 m x 3,0 m, pois otimizam a produção e utilizam bem o espaço. O tratamento de 3,0 m x 3,0 m, apresenta uma área transversal de 0,0686 m². Este espaçamento apresenta área transversal 2,09 vezes maior em relação ao de menor espaçamento, oferecendo um bom equilíbrio entre espaço vital e crescimento das árvores.

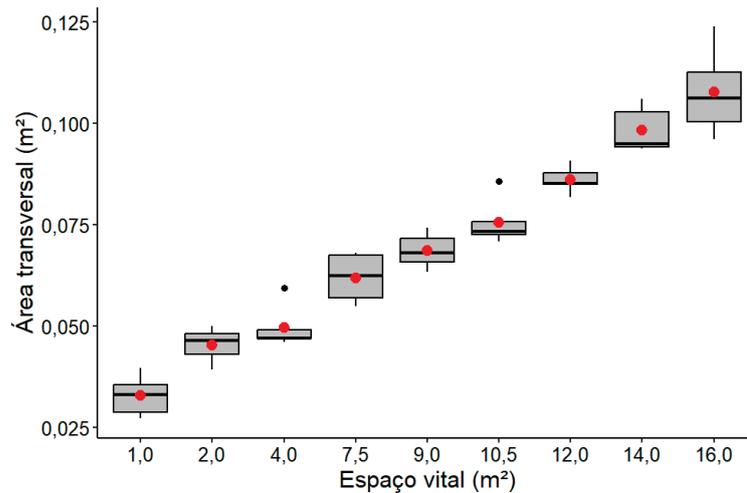
TABELA 10 - MÉDIAS DE ÁREA TRANSVERSAL E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Espaçamento	Espaço Vital (m ²)	Área transversal (m ²)	IMA _g (m ² ano ⁻¹)
1,0 m x 1,0 m	1,0	0,0329 h	0,0015
2,0 m x 1,0 m	2,0	0,0454 gh	0,0021
2,0 m x 2,0 m	4,0	0,0498 fg	0,0024
3,0 m x 2,5 m	7,5	0,0619 ef	0,0029
3,0 m x 3,0 m	9,0	0,0686 de	0,0033
3,0 m x 3,0 m	10,5	0,0757 cd	0,0036
4,0 m x 3,0 m	12,0	0,0862 bc	0,0041
4,0 m x 3,5 m	14,0	0,0983 ab	0,0047
4,0 m x 4,0 m	16,0	0,1079 a	0,0051

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

FONTE: A autora (2024)

FIGURA 9 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL ÁREA TRANVERSAL AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



Em que: Círculo vermelho nos boxplots representam a média de cada tratamento.
 FONTE: A autora (2024)

Outros trabalhos também encontraram resultados que mostram que espaçamentos mais amplos podem promover um maior crescimento das árvores. Chies (2005) observou um aumento na proporção de madeira juvenil em relação à área transversal com o aumento do espaçamento para *P. taeda* de 21 anos. Além disso, Sanquetta et al. (2003) encontraram um aumento progressivo na área transversal das árvores com o aumento do espaçamento em seus estudos. Esses resultados sugerem que a competição reduzida por recursos, como luz, água e nutrientes, em espaçamentos mais amplos pode beneficiar o crescimento das árvores de forma consistente ao longo do tempo.

5.4.4 ALTURA TOTAL (*h*)

Não foi observado um efeito significativo da densidade inicial sobre os valores médios de altura total aos 21 anos de idade, conforme indicado pela ANOVA (Apêndice 2). A maior média ($h = 26,99$ m) foi encontrada no tratamento com espaço vital de 12,0 m², enquanto a menor média ($h = 25,04$) foi encontrada no espaço vital de 4,0 m², apresentando, portanto, uma variabilidade pequena e confirmando que a altura média sofre pouca influência do espaçamento, assim como a altura dominante o que justifica seu uso como indicadora da qualidade de sítio (Tabela 11; Figura 10).

TABELA 11 - MÉDIAS DE ALTURA TOTAL E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

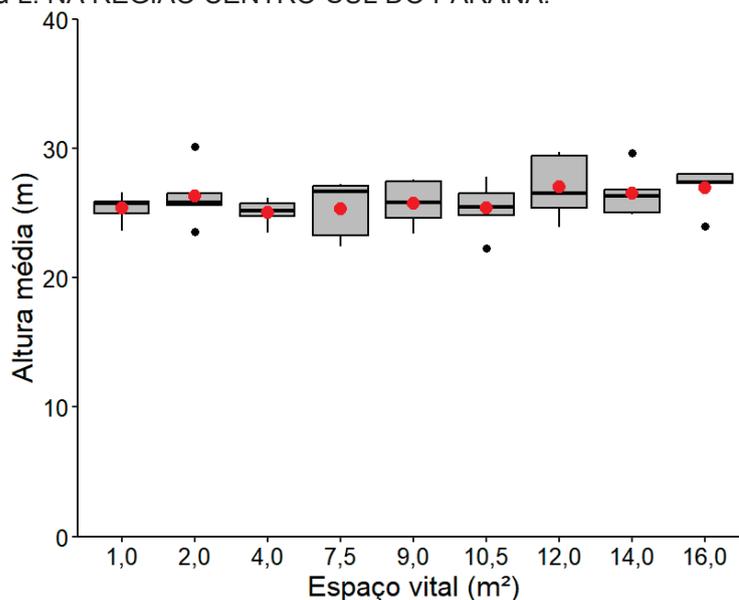
Espaçamento	Espaço Vital (m ²)	Altura total média (m)	IMA _n (m ano ⁻¹)
-------------	--------------------------------	------------------------	---

1,0 m x 1,0 m	1,0	25,35	1,21
2,0 m x 1,0 m	2,0	26,31	1,25
2,0 m x 2,0 m	4,0	25,04	1,19
3,0 m x 2,5 m	7,5	25,32	1,21
3,0 m x 3,0 m	9,0	25,75	1,23
3,0 m x 3,0 m	10,5	25,38	1,21
4,0 m x 3,0 m	12,0	26,99	1,29
4,0 m x 3,5 m	14,0	26,53	1,26
4,0 m x 4,0 m	16,0	26,95	1,28

FONTE: A autora (2024)

A diferença de 1,95 m entre o maior e o menor espaçamento sugere que o espaço vital não influencia no crescimento em altura. Lima (2014) e Leite et al. (2006) também não encontraram relação entre o crescimento em altura e o espaço vital, corroborando o resultado encontrado na presente pesquisa.

FIGURA 10 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL ALTURA TOTAL AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



Em que: Círculo vermelho nos boxplots representam a média de cada tratamento.

FONTE: A autora (2024)

5.4.5 VOLUME INDIVIDUAL POR ÁRVORE (v)

Assim como as outras variáveis dendrométricas, o volume também foi influenciado pela densidade inicial, apresentando valores médios estatisticamente diferentes entre os tratamentos, conforme o teste Tukey, aplicado ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 12). O tratamento com maior espaço vital (16,0 m²) apresentou

média de volume individual de 1,3240 m³, estatisticamente semelhante à média de volume individual estimada no tratamento de 14,0 m² (1,2004 m³). Por outro lado, a menor média de volume individual ocorreu no tratamento com espaço vital de 1,0 m² (0,3970 m³), a qual não diferiu estatisticamente da média estimada no tratamento de 2,0 m². O volume encontrado no tratamento 4,0 m x 4,0 m foi 3,33 vezes maior que o encontrado no tratamento 1,0 m x 1,0 m, comprovando que árvores com mais espaço vital têm um crescimento em volume individual significativamente maior.

Espaçamentos mais amplos contribuem para um maior desenvolvimento em volume médio das árvores. No entanto, tratamentos intermediários como 3,0 m x 2,5 m e 3,0 m x 3,0 m também podem ser boas opções com resultados equilibrados. O tratamento de 3,0 m x 3,0 m, por exemplo, é 2,08 vezes maior que o de menor espaço vital (1m²).

TABELA 12 - MÉDIAS DO VOLUME INDIVIDUAL MÉDIO TOTAL COM CASCA (\bar{v}) E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADAS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Espaçamento	Espaço Vital (m²)	\bar{v} (m³)	IMA_v (m³ ano⁻¹)
1,0 m x 1,0 m	1,0	0,3970 h	0,0189
2,0 m x 1,0 m	2,0	0,5607 gh	0,0267
2,0 m x 2,0 m	4,0	0,6180 fg	0,0294
3,0 m x 2,5 m	7,5	0,7402 ef	0,0352
3,0 m x 3,0 m	9,0	0,8247 de	0,0393
3,0 m x 3,0 m	10,5	0,9138 cd	0,0435
4,0 m x 3,0 m	12,0	1,0484 bc	0,0499
4,0 m x 3,5 m	14,0	1,2004 ab	0,0572
4,0 m x 4,0 m	16,0	1,3240 a	0,0630

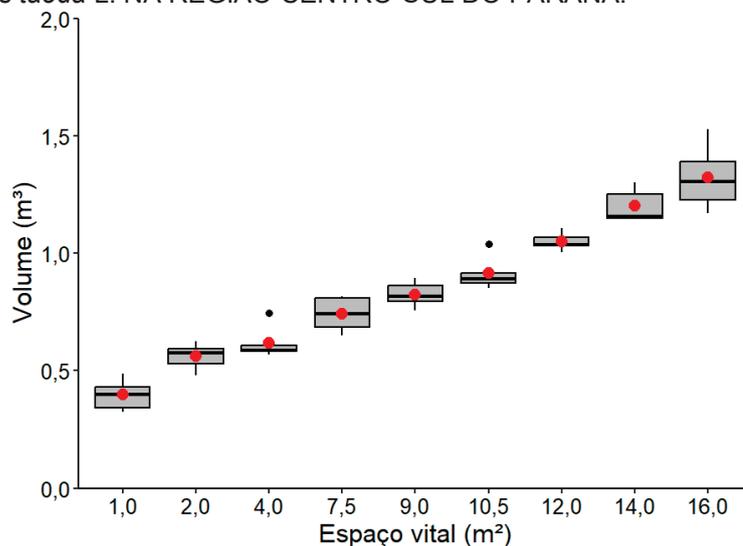
Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

FONTE: A autora (2024)

Pode-se observar que os resultados encontrados para o volume médio individual foram semelhantes aos encontrados para o diâmetro médio aritmético no que diz respeito a diferença das médias entre os tratamentos. Conforme destacado por Lima (2014), o volume por árvore é altamente influenciado pelo diâmetro. Além disso, o volume é diretamente afetado pelo espaçamento, quanto maior o espaço maior será o volume produzido, apesar do volume total por unidade de área diminuir nas idades mais jovens (BALLONI e SIMÕES, 1980).

Pacheco (2013) ao fazer análise de tronco em 81 árvores deste mesmo experimento até os 9 anos, encontrou a maior média de volume individual sem casca no tratamento com espaço vital de 14,0 m², considerando a idade de 9 anos. Já na presente pesquisa, a maior média foi observada no tratamento com 16,0 m² (Figura 11). Essa diferença pode ser atribuída ao fato de que, até os 9 anos de idade, o espaço vital de 14,0 m² era suficiente para permitir o crescimento volumétrico das árvores, pois havia menos competição entre as árvores. No entanto, conforme as árvores se tornaram maiores, passaram a exigir maiores espaçamentos.

FIGURA 11 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL VOLUME INDIVIDUAL AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



Em que: Círculo vermelho nos boxplots representam a média de cada tratamento.
FONTE: A autora (2024).

5.4.6 ÁREA BASAL (G) POR HECTARE

Para área basal por hectare (G), também foi observada diferença estatística significativa entre os tratamentos, conforme a análise de variância, e confirmado pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$), (Tabela 13). A maior média foi de 65,91 m² ha⁻¹, no tratamento com espaço vital de 4,0 m² que não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, exceto o 1 (1,0 m X 1,0 m). Normalmente, espaçamentos mais densos apresentam área basal significativamente maiores em relação a espaçamentos mais amplos nas idades mais jovens.

TABELA 13 - MÉDIAS DE ÁREA BASAL E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Espaçamento	Espaço Vital (m²)	Área basal (m² ha⁻¹)	IMA_v (m² ano⁻¹)
1,0 m x 1,0 m	1,0	48,48 b	2,3088
2,0 m x 1,0 m	2,0	64,12 ab	3,0535
2,0 m x 2,0 m	4,0	65,91 a	3,1388
3,0 m x 2,5 m	7,5	64,52 a	3,0723
3,0 m x 3,0 m	9,0	63,16 a	3,0077
3,0 m x 3,0 m	10,5	60,44 a	2,8780
4,0 m x 3,0 m	12,0	61,78 a	2,9417
4,0 m x 3,5 m	14,0	62,27 a	2,9650
4,0 m x 4,0 m	16,0	54,64 ab	2,6020

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

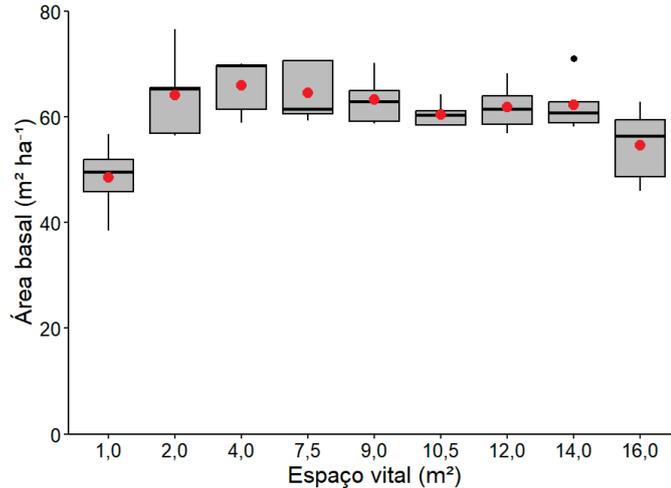
FONTE: A autora (2024)

Pacheco (2013) ao estudar mesmo plantio em estudo encontrou, aos 9 anos de idade, a maior média de área basal no tratamento com menor espaço vital (1,0 m²). Leite et al. (2006) verificaram que quanto menor o espaçamento, maior a estimativa média da área basal. Nesse estudo, porém, a maior média de área basal foi encontrada no espaçamento 2,0 m x 2,0 m (Figura 12).

Em plantios de cerca de 40 m² ha⁻¹ de área basal, é recomendado realizar desbastes como prática de manejo, uma vez que, ao aumentar o espaço vital entre as árvores, os desbastes proporcionam melhor acesso a nutrientes e luz, promovendo o aumento da área basal individual e resultando ao final da rotação, o desenvolvimento de árvores com diâmetros maiores (GLUFKE et al., 1997). Os resultados (Figura 12) mostram que todos os tratamentos apresentam valores maiores que 40 m² ha⁻¹, o que explica a alta taxa de mortalidade observada uma vez que segundo Schneider e Finger (1994) quando a área basal aumenta significativamente, a competição entre as

árvores também se intensifica, levando à mortalidade natural e, conseqüentemente, a uma redução momentânea da área basal.

FIGURA 12 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL ÁREA BASAL AVALIADA AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



Em que: Círculo vermelho nos boxplots representam a média de cada tratamento.
FONTE: A autora (2024)

5.4.7 VOLUME TOTAL COM CASCA POR HACTARE (V)

Os resultados encontrados para volume por hectare demonstram a influência significativa do espaçamento na produção de *P. taeda*, tanto em termos de volume total quanto de incremento médio anual (IMA). O espaçamento 2,0 m x 2,0 m apresentou o maior volume total médio (818,11 m³ ha⁻¹), seguido pelos espaçamentos de 2,0 m x 1,0 m (790,98 m³ ha⁻¹) e 3,0 m x 2,5 m (770,28 m³ ha⁻¹). É possível observar que o menor valor de volume por hectare foi encontrado no menor espaçamento (1 m x 1 m), porém como não estão incluídos os volumes das árvores que morreram essa diferença pode ser devido à mortalidade (Tabela 14; Figura 13).

TABELA 14 - MÉDIAS DE VOLUME TOTAL POR HECTARE E RESPECTIVO INCREMENTO MÉDIO ANUAL (IMA) AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

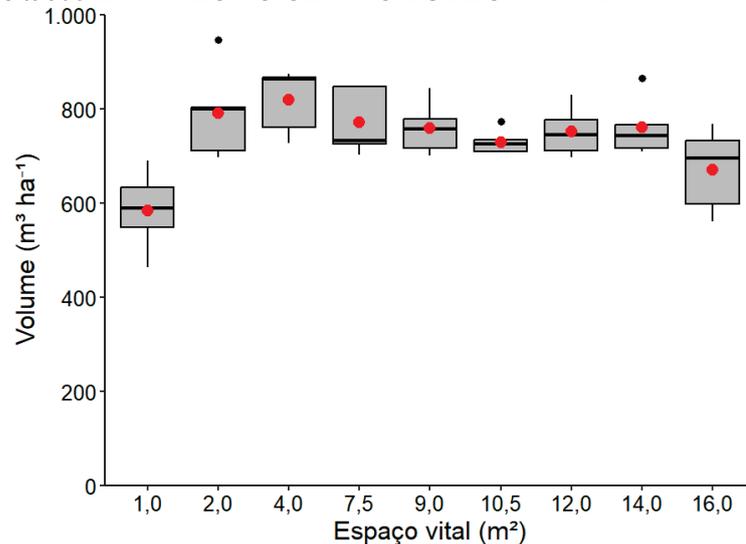
Espaçamento	Espaço Vital (m²)	Volume total (m³ ha⁻¹)	IMA_v (m³ ha⁻¹ ano⁻¹)
1,0 m x 1,0 m	1,0	584,09 b	27,8140
2,0 m x 1,0 m	2,0	790,98 a	37,6656
2,0 m x 2,0 m	4,0	818,11 a	38,9577
3,0 m x 2,5 m	7,5	770,28 a	36,6800
3,0 m x 3,0 m	9,0	758,68 a	36,1275
3,0 m x 3,0 m	10,5	729,08 ab	34,7179
4,0 m x 3,0 m	12,0	751,63 a	35,7921
4,0 m x 3,5 m	14,0	759,52 a	36,1678
4,0 m x 4,0 m	16,0	670,59 ab	31,9330

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 95% de probabilidade. v = volume; IMA = Incremento médio Anual.

Pacheco (2013) observou que o tratamento com maior média de volume por hectare aos nove anos, foi o de 1 m² (632,4 m³ ha⁻¹) e o tratamento com menor volume por hectare o de 12,0 m² (142,0 m³ ha⁻¹), sendo, portanto, o volume do tratamento com 1 m² 4,45 vezes maior que o volume do tratamento de 12 m². Aos 21 anos o maior volume foi apenas 1,4 vezes maior que o menor volume. Contudo, é importante destacar que o tratamento que apresentou menor volume por hectare foi o que teve a maior mortalidade e que essa diferença poderia ser ainda menor.

É possível que aos nove anos o tratamento de 1,0 m² já estivesse mais próximo de atingir seu valor assintótico em volume, uma vez que os valores encontrados aos 21 anos são bem próximos, diferenciando-se provavelmente apenas por conta da mortalidade que ocorreu dos 9 aos 21 anos. É comum observar a redução do crescimento mais cedo em espaçamentos mais densos. No entanto, com o passar dos anos, espera-se que a produção volumétrica dos espaçamentos mais amplos, seja semelhante à dos espaçamentos mais densos que é o que já ocorre neste plantio, pois a diferença na produção volumétrica por hectare entre espaçamentos mais densos e mais amplos diminui com o avanço da idade das árvores (MORAIS, 2006).

FIGURA 13 - BOXPLOT PARA A VARIÁVEL VOLUME POR HECTARE AVALIADO AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



Em que: Círculo vermelho nos boxplots representam a média de cada tratamento.
FONTE: A autora (2024)

5.5 AVALIAÇÃO DOS SORTIMENTOS

Na Tabela 15 são apresentados os resultados de volume por hectare, proporção de volume e receita bruta média em reais para o sortimento denominado Laminação. Os resultados indicam que os tratamentos com maiores espaços vitais (12,0 m², 14,0 m² e 16,0 m²) resultaram em maiores volumes de madeira. Esse aumento no volume de madeira é devido ao fato de que espaçamentos mais amplos reduzem a competição por recursos, permitindo a formação de árvores com maior crescimento diamétrico, o que torna a madeira mais adequada tanto para Serraria quanto para Laminação (HÉRBET et al., 2016).

Já nos dois menores espaçamentos (1 m² e 2 m²) não foram encontrados volumes sortimento Laminação. Em termos percentuais, 30,28% do volume produzido no tratamento de 16,0 m² é destinado para Laminação, enquanto apenas 1,34% do volume no tratamento de 4,0 m² (o menor espaçamento que ainda produz volume para Laminação) é destinado para o mesmo fim. A receita bruta média por hectare para Laminação totalizou R\$ 213.726,63 ha⁻¹. A receita bruta gerada no tratamento de 4,0 m x 4,0 m (R\$ 76.581,18) foi 18,86 vezes maior que a gerada nos tratamentos de 2,0 m x 2,0 m (R\$ 4.061,07).

Koehler et al. (2015) encontraram valores próximos aos obtidos para o tratamento de 16 m² ao estudarem a evolução do sortimento em povoamentos de *P. taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina, observando que, para a região no estado de Santa Catarina, em povoamentos de 19 a 22 anos, o volume destinado para Laminação (considerando um diâmetro da ponta final de 35 cm) representou cerca de 30,87% do volume total da árvore.

TABELA 15 - VOLUME COM CASCA (m³ ha⁻¹), PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE E RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA LAMINAÇÃO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *P. taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Laminação				
Tratamento (m)	Espaço Vital (m ²)	Volume (m ³ ha)	Porcentagem (%)	Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)
1,0 x 1,0	1,0	0	0	0
2,0 x 1,0	2,0	0	0	0
2,0 x 2,0	4,0	10,413	1,34	4.061,07
3,0 x 2,5	7,5	15,768	2,14	6.149,52
3,0 x 3,0	9,0	30,757	4,23	11.995,23
3,0 x 3,5	10,5	40,358	5,77	15.739,62
4,0 x 3,0	12,0	101,486	14,04	39.579,54
4,0 x 3,5	14,0	152,873	20,81	59.620,47
4,0 x 4,0	16,0	196,362	30,28	76.581,18
Receita Bruta Total				213.726,63

Em que: Diâmetro da ponta fina ≥ 35 cm.

FONTE: A autora (2024)

Para Serraria 2, o tratamento de 14,0 m² é o que apresenta maior volume destinado a esse sortimento (331,061 m³ ha⁻¹) e o tratamento com menor espaçamento (1,0 m x 1,0 m) o que apresentava menor volume para Serraria 2, totalizando apenas, 32,302 m³ ha⁻¹. Em termos percentuais, o tratamento que produziu maior parte do seu volume para Serraria 2 foi o de 10,5 m² (46,38 %). Contudo, os tratamentos de 12,0 m², 14,0 m² e 16,0 m² apresentaram valores muito próximos aos do tratamento de 10,5 m². A receita bruta média por hectare para Serraria 2 totalizou R\$ 635.151,04 ha⁻¹, sendo que, a receita produzida no tratamento 1,0 m X 1,0 m (R\$ 9.367,58) foi 10,25 vezes menor que a do tratamento 4,0 m x 3,5 m (Tabela 16).

Koehler et al. (2015), ao estudarem a evolução do sortimento de *Pinus taeda* nos estados de Santa Catarina e Paraná, encontraram que, em Santa Catarina, 48,5%

do volume de povoamentos com idades entre 19 e 22 anos foi destinado para Serraria tipo 2, considerando um diâmetro da ponta fina de 25 cm. Para o estado do Paraná, os autores observaram que, considerando povoamentos de 16 a 18 anos, 59,47% do volume foi destinado para Serraria tipo 2. Esses resultados são próximos aos encontrados neste estudo para os maiores espaçamentos, especialmente para o tratamento de 10,5 m².

TABELA 16 - VOLUME COM CASCA (m³ ha⁻¹), PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE E RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA SERRARIA 2 AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *P. taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Serraria 2				
Tratamento (m)	Espaço Vital (m²)	Volume (m³ ha)	Porcentagem (%)	Receita bruta (R\$ ha⁻¹)
1,0 x 1,0	1,0	32,302	5,95	9.367,58
2,0 x 1,0	2,0	150,395	20,09	43.614,55
2,0 x 2,0	4,0	193,383	24,89	56.081,07
3,0 x 2,5	7,5	269,938	36,68	78.282,02
3,0 x 3,0	9,0	289,723	39,85	84.019,67
3,0 x 3,5	10,5	324,519	46,38	94.110,51
4,0 x 3,0	12,0	312,357	43,21	90.583,53
4,0 x 3,5	14,0	331,061	45,06	96.007,69
4,0 x 4,0	16,0	286,498	44,18	83.084,42
Receita Bruta Total				635.151,04

Em que: Diâmetro da ponta fina: 25 cm – 35 cm.

FONTE: A autora (2024)

Os tratamentos intermediários (2,0 m², 4,0 m² e 7,5 m²) foram os que mais produziram volumes (m³ ha⁻¹) para Serraria 1 indicando que esses tratamentos produzem quantidades comparáveis de madeira adequada para essa finalidade. O tratamento de 4,0 m² é o que apresenta maior volume destinado a esse sortimento (315,085 m³ ha⁻¹) porém, o tratamento com maior espaçamento (4,0 m x 4,0 m) foi que apresentou menor volume para Serraria 1, totalizando apenas, 100,373 m³ ha⁻¹ (Tabela 18).

Em termos percentuais os tratamentos que mais promovem volume para Serraria 1 são os de 2,0 m² e de 4,0 m² com 40,55 % e 40,53% respectivamente. A receita bruta média por hectare para Serraria 1 totalizou R\$ 355.130,13 ha⁻¹, sendo que, a receita bruta por hectare produzida no tratamento 2,0 m X 2,0 m (R\$ 61.441,58) foi 3,14 vezes maior que a do 4,0 m X 4,0 m (R\$ 19.572,74) (Tabela 17).

Koehler et al. (2015) encontraram que, com os dados dos povoamentos de *Pinus taeda* em Santa Catarina, 14,17% do volume foi destinado para Serraria tipo 1, considerando árvores com diâmetro da ponta fina de 18 cm e idade entre 19 a 22 anos. Para os dados do Paraná, em povoamentos de 16 a 18 anos, esse percentual foi de 17,12%. Esses resultados também são próximos aos encontrados neste estudo para os maiores espaçamentos, especialmente para o tratamento. Contudo espaçamentos pequenos tiveram uma maior porcentagem de volume destinado a Serraria 1, demonstrando a eficiência desses espaçamentos para esse tipo de sortimento.

TABELA 17 - VOLUME COM CASCA ($m^3 ha^{-1}$), PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE E RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA SERRARIA 1 AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Serraria 1				
Tratamento (m)	Espaço Vital (m^2)	Volume ($m^3 ha$)	Porcentagem (%)	Receita bruta (R\$ ha^{-1})
1,0 x 1,0	1,0	171,267	31,53	33.397,07
2,0 x 1,0	2,0	303,466	40,53	59.175,87
2,0 x 2,0	4,0	315,085	40,55	61.441,58
3,0 x 2,5	7,5	268,834	36,53	52.422,63
3,0 x 3,0	9,0	222,385	30,59	43.365,08
3,0 x 3,5	10,5	180,01	25,73	35.101,95
4,0 x 3,0	12,0	141,869	19,63	27.664,46
4,0 x 3,5	14,0	117,891	16,05	22.988,75
4,0 x 4,0	16,0	100,373	15,48	19.572,74
Receita Bruta Total				355.130,10

Em que: Diâmetro da ponta fina: 18 cm – 25 cm.

FONTE: A autora (2024)

Para o sortimento Processo aconteceu o inverso dos resultados de Laminação, ou seja, quanto maior o espaço vital, menor o volume destinado para esse tipo de sortimento, sendo os tratamentos com menores espaçamentos (1,0 m x 1,0 m, 2,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 3,0 m) os que proporcionaram maiores volumes. Para Gomes et al. (1997) se o objetivo do plantio for produzir madeira para Processo, é recomendável a utilização de espaçamentos mais densos o que destino menor volume para Processo totalizando apenas, 65,219 $m^3 ha^{-1}$.

Em termos percentuais o tratamento que mais promove volume para Processo é o com 1,0 m^2 de espaço vital, uma vez que, 65,52% do volume deste tratamento é

destinado para Processo. A receita bruta média por hectare para esse sortimento totalizou R\$ 142.250,00 ha⁻¹, sendo que, a receita por hectare produzida no tratamento 1,0 m X 1,0 m (R\$ 27.169,28) foi 5,21 vezes maior que a do tratamento 4,0 m X 4,0 m (R\$ 5.217,52) (Tabela 18).

TABELA 18 - VOLUME COM CASCA (m³ ha⁻¹), PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE E RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA PROCESSO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Tratamento (m)	Espaço Vital (m ²)	Processo		
		Volume (m ³ ha)	Porcentagem (%)	Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)
1,0 x 1,0	1,0	339,616	62,52	27.169,28
2,0 x 1,0	2,0	294,851	39,38	23.588,08
2,0 x 2,0	4,0	258,107	33,22	20.648,56
3,0 x 2,5	7,5	181,478	24,66	14.518,24
3,0 x 3,0	9,0	184,081	25,32	14.726,48
3,0 x 3,5	10,5	154,828	22,13	12.386,24
4,0 x 3,0	12,0	167,102	23,12	13.368,16
4,0 x 3,5	14,0	132,843	18,08	10.627,44
4,0 x 4,0	16,0	65,219	10,06	5.217,52
Receita Bruta Total				142.250,00

Em que: Diâmetro da ponta fina: 8 – 18 cm.

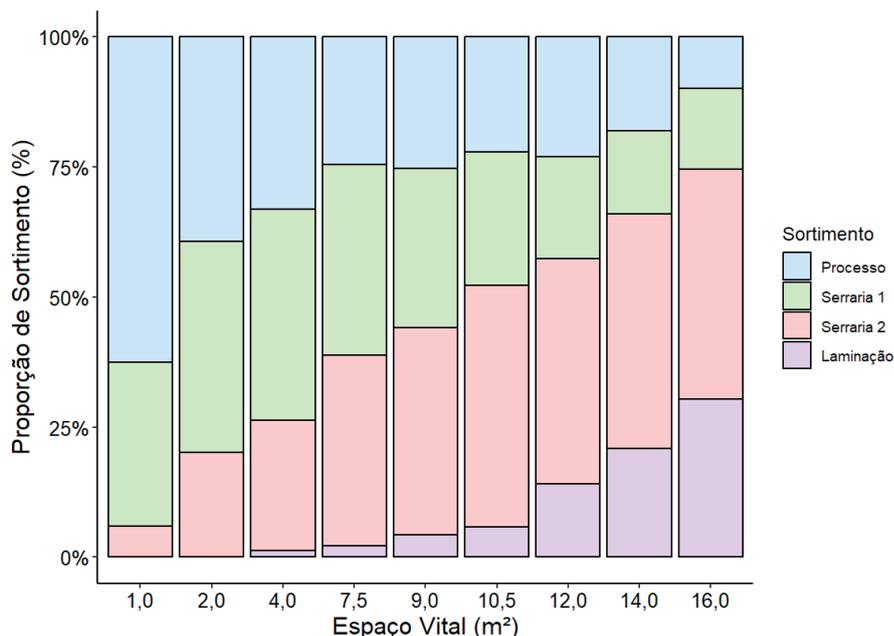
FONTE: A autora (2024)

Na Figura 14, observa-se a distribuição de volume por sortimento em diferentes espaçamentos. O gráfico confirma que o tratamento de 1 m² teve a maior proporção de volume destinado ao sortimento de Processo. Em contrapartida, o tratamento de 16 m² foi o mais produtivo para Laminação, já para Serraria 1 o tratamento que destinou maior parte do seu volume foi o de 4,0 m² e para Serraria 2 o de 10,5 m².

Os tratamentos com espaçamentos mais amplos resultaram em maior volumetria destinada a sortimentos que exigem madeira de maiores dimensões, como Laminação e Serraria 1, tanto em nível de volume individual quanto por unidade de área. Já para os sortimentos que, em geral, utilizam madeiras de menores dimensões, verificou-se maior volumetria estimada nos tratamentos com espaçamentos mais densos.

FIGURA 14 - PROPORÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE PARA LAMINAÇÃO, SERRARIA 2, SERRARIA 1 E MADEIRA PARA PROCESSO AVALIADOS AOS 21

ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

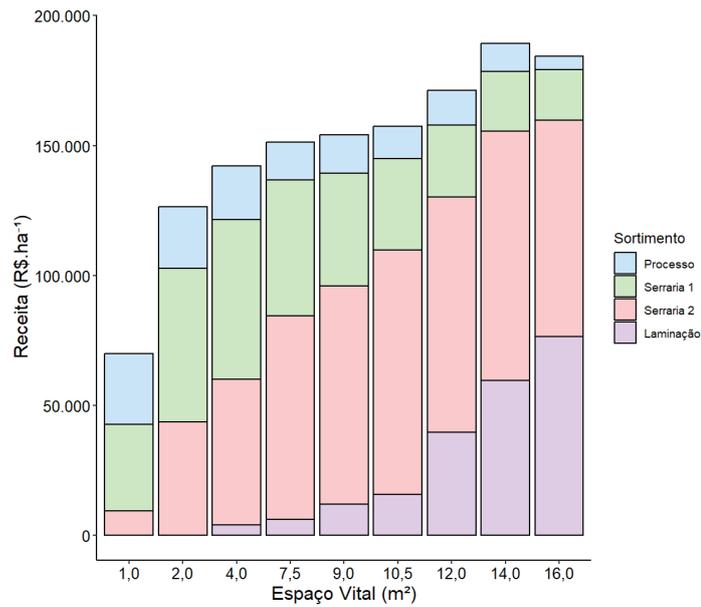


Em que: Laminação: >35 cm; Serraria 2: 25 cm – 35,0 cm; Serraria 1: 18 cm – 25,0 cm; Processo 8 – 18,0 cm.

FONTE: A autora (2024).

Na Figura 15, observa-se a receita bruta por sortimento em diferentes espaçamentos. E na tabela 19 a receita bruta total por tratamento. O gráfico e a tabela demonstram que apesar do tratamento de 1 m² ter tido a maior proporção de volume destinado ao sortimento denominado Processo, a maior receita deste tratamento é obtida no sortimento Serraria 1, que também é o responsável pela maior receita nos tratamentos de 2 m² e 4 m². Para todos os demais espaçamentos a maior receita foi obtida pelo sortimento denominado Serraria 2.

FIGURA 15 - RECEITA BRUTA MÉDIA POR HECTARE PARA LAMINAÇÃO, SERRARIA 2, SERRARIA 1 E PARA PROCESSO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.



Em que: Laminação: >35 cm; Serraria 2: 25 cm – 35,0 cm; Serraria 1: 18 cm – 25,0 cm; Processo 8 – 18,0 cm.
 FONTE: A autora (2024).

TABELA 19 - RECEITA BRUTA TOTAL POR TRATAMENTO AVALIADOS AOS 21 ANOS DE IDADE PARA NOVE DIFERENTES ESPAÇAMENTOS INICIAIS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ.

Tratamento (m)	Espaço Vital (m²)	Receita bruta (R\$)
1,0 x 1,0	1,0	69.933,93
2,0 x 1,0	2,0	126.378,50
2,0 x 2,0	4,0	142.232,28
3,0 x 2,5	7,5	151.372,41
3,0 x 3,0	9,0	154.106,46
3,0 x 3,5	10,5	157.338,32
4,0 x 3,0	12,0	171.195,69
4,0 x 3,5	14,0	189.244,35
4,0 x 4,0	16,0	184.455,86

FONTE: A autora (2024)

6 CONCLUSÕES

Os resultados do experimento aos 21 anos de idade possibilitaram gerar as seguintes conclusões:

- Espaçamentos mais densos apresentaram altas taxas de mortalidade, chegando a mais de 80%, mas os espaçamentos menos densos, também tiveram taxas relevantes de mortalidade, com cerca de 18% no maior espaço vital (16 m²).
- A distribuição diamétrica nos tratamentos com menor espaço vital tem uma amplitude mais assimétrica variando de 10 a 30 cm, enquanto nos de maior espaço vital essa amplitude foi mais simétrica indo de 15 cm a maior que 50 cm.
- Os espaçamentos mais amplos produzem diâmetros, áreas transversais e volume individual com médias bem superiores aos espaçamentos menores. O maior valor de diâmetro médio foi encontrado no tratamento com 16 m² de área vital e foi 1,82 vezes maior que o encontrando no tratamento com 1 m². Foi encontrada uma área transversal e um volume médio individual 3,33 vezes maior no espaço vital de 16 m² em relação ao tratamento com menor espaço vital (1 m²). A altura total praticamente não foi afetada pela densidade inicial.
- Para área basal e volumes por hectare os resultados demonstraram que, com exceção do tratamento 1 (1 m²) todos os outros não diferem estatisticamente.
- Espaçamentos mais densos como de 1 m² produzem mais volume de madeira para o sortimento Processo. Para Serraria 1 os tratamentos (2 m², 4 m² e 7,5 m²) foram os melhores e se comportaram de forma parecida. Para produção de madeira de alto valor de mercado, como Laminação e Serraria 2, recomendam-se espaçamentos amplos sendo o mais indicado em termos de produção volumétrica para Serraria 2, o espaço vital de 10,5 m² e para Laminação o de 16 m².
- Espaçamentos amplos produzem maiores receitas bruta aos 21 anos, devido ao maior volume de madeira de maior valor de mercado.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. V.; SOUZA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. Cultivo de Pínus: Espécies de pínus mais plantadas no Brasil. In: **Sistemas de Produção**. v 5. 2 ed. Embrapa Florestas. 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155568/1/EmbrapaCultivoDePinus2014.pdf>>. Acesso em 21 de out. 2023.

ASSIS, A. L. **Avaliação de Modelos Polinomiais Segmentados e Não Segmentados na Estimativa de Diâmetros e Volumes Comerciais de *Pinus taeda***. Lavras: UFLA, 2000. 189p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras.

ASSOCIAÇÃO PARANAENSE DE EMPRESAS DE BASE (APRE). **Estudo setorial APRE 2020**. Curitiba, 2021. Disponível em: <https://apreflorestas.com.br/wp-content/uploads/2021/01/estudo_setorial_digital.pdf> Acesso em 20 de out. 2023.

BALLONI, E. A. SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. Série Técnica IPEF, 1980. p. 1-16.

BLANCO, J.J., L. RAMOS, F. ROMERO; ALVARES. E. Comportamiento de *Pinus tropicalis* en cinco espaciamentos de plantación en los suelos ferralíticos cuarcíticos amarillos de Viñales, Cuba. **Revista Forestal Baracoa**, v.18, n.2, p.21-30, 1988.

BOGNOLA, I. A.; BELLOTE, A. F. J. Cultivo de Pínus: Sistemas de Plantio. In: **Sistemas de Produção**. v5. 2ed. EmbrapaFlorestas.jun/2014. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=3715&p_r_p_-996514994_topicold=3238. Acesso em 20 de out. 2023.

BONAZZA, M; SAMPIETRO, J. A; VIVIAN, M. A; SILVESTRE, R; MODES, K. S. Efeito da idade, sortimento e tempo de estocagem na densidade verde da madeira de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, vol. 32, no. 2, p. 735–756, 24 jun. 2022. DOI 10.5902/1980509848083. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509848083>.

BOTELHO, S.A. Espaçamento. In: SCOLFORO, J.R.S. Manejo florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. p. 381-406.

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

COELHO, M. C. B; SOUSA, M.V.R; RODRIGUES, W.M; MENEZES, M.P; MENDONÇA, L.F.T; BARILLI, J.; LOPES, V.C; GIONGO, M. Modelos de afiamento e sortimento de madeira em povoamento florestal de *Corymbia citriodora*. **Contemporânea**, vol. 3, n.9, p. 14968–14996, 2023. DOI 10.56083/rcv3n9-081. Disponível em: <https://doi.org/10.56083/rcv3n9-081>.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. L. Avaliação econômica de floresta de pinus para produção de madeira e resina. **Revista Agrogeoambiental**, vol. 1, n. 2, 1. 2009. DOI 10.18406/2316-1817v1n2200973. Disponível em: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v1n2200973>.

CRUZ, G. S.; **Efeito de diferentes regimes de manejo sobre variáveis dendrométricas, morfometria e sortimentos de *Pinus taeda* aos 37 anos de idade**. Lages, 2020, 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina.

CUNHA, J. P. D., LEÃO, J. R. A., SILVA, L. V. A. Dinâmica de crescimento e distribuição diamétrica de fragmentos de florestas nativa e plantada na Amazônia sul ocidental. **Floresta e Ambiente**, vol. 20, 1, pág. 70–79, 2013. DOI 10.4322/floram.2012.065. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/floram.2012.065>.

DAVID, H. C.; NETTO, S. P.; ARCE, J. E.; CORTE, A. P. D.; FILHO, A. M.; DE ARAÚJO, E. J. G. Efeito da Qualidade do Sítio e do Desbaste na Produção de Pinus. **Floresta E Ambiente**, vol. 24. 2017. DOI 10.1590/2179-8087.096414. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.096414>.

DOBNER JÚNIOR, M; HIGA, A. R; ROCHA, M. P Rendimento em Serraria de Toras de *Pinus taeda*: Sortimentos de Grandes Dimensões. **Floresta E Ambiente**, vol. 19, n. 3, pág. 385–392, 1 de janeiro de 2012. DOI 10.4322/floram.2012.053. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/floram.2012.053>.

ELESBÃO, L. E. G.; **Crescimento e produção de *Pinus taeda* L. na região dos campos de cima da serra, Rio Grande do Sul**. UFSM, Santa Maria, 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria.

GLUFKE, C.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER P. R. Crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. sob diferentes intensidades de desbaste. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.7, n.1, p. 11-25, 1997.

GOMES, F. S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, v. 7, p. 101-126, 1997.

GOMES, G. S. L. **Efeito do espaçamento na produção de madeira e qualidade do carvão vegetal, em pequena propriedade**. Viçosa, 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa.

GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P.; GARCIA, E. A.; SPINELLI, R. Eucalipto adensado: manejo para florestas energéticas. In: LEMOS, E. G. M.; STRADIOTTO, N. R. Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação, São Paulo, p. 125-161. 2012. 1069 p.

HÉRBET, F.; KRAUSE, C.; PLOURDE, P.; ACHIM, A.; PRÉGENT, G.; MÉNÉTRIER, J. Effect of tree spacing on tree level volume growth, morphology, and wood properties in a 25-year-old *Pinus banksiana* plantation in the Boreal Forest of Quebec. **Forests**, v. 7, n. 01, p. 276. 2016.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Atlas Climático do Paraná**. 2020. Disponível em:<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533>>. Acesso em 20 de out. 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Anuário Estatístico IBÁ**. Brasília, 2022, 81p.

INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377-385, set. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Estatísticas Agropecuárias, Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2022. Disponível em:<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2022_v37_informativo.pdf>. Acesso em 20 de out. 2023.

IRATI, Prefeitura Municipal. **Geografia**. 2020. Disponível em:<http://irati.pr.gov.br/pagina/1_Historia-da-Cidade.html>. Acesso em 22 de Out. 2023.

JONES, E. P. Slash pine plantation spacing study, age 30. Atlanta, p. 45-49, 1987. (USDA. SRS-GTR, 121).

JORGE, L. A. B.; LARA, H. A. Programa de sortimento de madeira serrada de povoamentos de *Pinus elliotii* com alternativas de produtos padronizados. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1. / CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. Anais. Curitiba: SBS/SBEF, 1993. P.539-548.

KOHLER, S. V. **Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina**. Curitiba, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná.

KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FILHO, A. F.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A. Evolução do sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. **Floresta**, vol. 45, não. 3, pág. 545, 24 de janeiro de 2015. DOI 10.5380/rf.v45i3.35746. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rf.v45i3.35746>.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R.H. **A cultura de *Pinus* no Brasil**, São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160 p.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus Taeda* L. **Revista Árvore**, vol. 30, n. 4, pág. 603–612, 2006. DOI 10.1590/s0100-67622006000400013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-67622006000400013>.

LEITE, H. Garcia; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, p. 603-612, 2006.

LIMA, M. B. D. O. **Dinâmica da distribuição diamétrica e prognose do crescimento de eucalipto em diferentes espaçamentos para multiprodutos**. Brasília, 2018. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais), Universidade de Brasília.

LIMA, R. 2014. **Crescimento, biomassa e carbono de *Pinus taeda* L. em função do espaço vital**. Curitiba, 2014. 104 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná.

LIMA, R. *et al.* Carbono orgânico no solo em função do espaço vital de crescimento de *Pinus taeda* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009. **Resumos**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v. 1, p. 463-583.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J.; MACHADO, S. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, vol. 20, n. 2, pág. 223–230, 2013. DOI 10.4322/floram.2013.001. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/floram.2013.001>.

LOPES, H. V. S. **Análise econômica dos fatores que afetam a rotação de povoamentos de eucaliptos**. Viçosa, 1990. 188 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais, Guarapuava**, v. 4, n. 2, p. 185-197. 2002.

MÔRA, RÔMULO, et al. Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento Analysis of different adjustment forms of taper functions. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 237-249, jun. 2014.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais**. Lavras, 2006. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras.

MOULIN, J. C.; ARANTES, M. D. C.; OLIVEIRA, J. G. L.; CAMPINHOS, E.; GOMES, F.; VIDAURRE, G. B. Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto. **Floresta e Ambiente**, vol. 24, 2017. DOI 10.1590/2179-8087.073914. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.073914>.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G.; MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, vol. 32, n. 5, pág. 855–860, 2008. DOI 10.1590/s0100-67622008000500010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-67622008000500010>.

PACHECO, J. M. **Influência do espaçamento no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro-Sul do Paraná**. Irati, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Estadual do Centro – Oeste, Paraná.

PACHECO, J. M., FIGUEIREDO FILHO, A., DIAS, A. N., DO AMARAL MACHADO, S., LIMA, R. Efeito da densidade inicial no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro Sul do Paraná. **Scientia Forestalis**., Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 353-365, jun. 2015.

PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** Santa Maria, 2010. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria.

PAULINO, E. J. **Influência do espaçamento e da idade na produção de biomassa e na rotação econômica em plantios de eucalipto**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2012.

PEDROSO FILHO, J. I.; BIALI, L. J.; SCHNEIDER, P. R.; DE FARIAS, J. A. Avaliação econômica de projetos de florestamento com *Eucalyptus grandis* hill ex maiden implantado sob diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, vol. 28, n. 1, p. 240–248. 2018. DOI 10.5902/1980509831577. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509831577>.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, v.172, n. 2/3, p. 215-227, 2003.

PRETZSCH, H.; DEL RÍO, M.; BIBER, P.; ARCANGELI, C.; BIELAK, K.; BRANG, P.; DUDZINSKA, M.; FORRESTER, DI; KLÄDTKE, J.; KOHNLE, U.; LEDERMANN, T.; MATTHEWS, R.; NAGEL, J.; NAGEL, R.; NILSSON, U.; NINGRE, F.; NORD-LARSEN, T.; WERNSDÖRFER, H.; SYCHEVA, E. Maintenance of long-term experiments for unique insights into forest growth dynamics and trends: review and perspectives. **European Journal of Forest Research**, v. 138, p. 165-185, 2019.

RODRIGUES, C. K. C. S; LIMA, J. C., FETT NETO, A. G. *Pine oleoresin*: tapping green chemicals, biofuels, food protection, and carbon sequestration from multipurpose trees. **Food and Energy Security**, v. 1, n. 2, p. 81-93, 2012.

SANQUETTA, C. R; REZENDE, A. V; SILVA, D.; SCHAAF, L. B; ZAMPIER, A. C. Produção de madeira para laminação em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades e regimes de desbaste: uma abordagem experimental. **Floresta**, v. 28, n. 1/2, 1998.

SANQUETTA, C. R; REZENDE, A. V; SILVA, D.; SCHAAF, L. B; ZAMPIER, A. C.; ARCE, J. E. Produção de madeira para celulose em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades de plantio e regimes de desbaste: abordagem experimental. **Cerne**, v. 10, n. 2, p. 154-166, 2004.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Determinação de regimes de desbaste para povoamentos de *Pinus elliottii* do planalto ocidental no Estado de Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.4, n.1, p.43-59, 1994.

SCHNEIDER, P.R. Introdução ao Manejo Florestal. Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 1993. 348p.

SEREGHETTI, G. C., LANÇAS, K. P., SARTORI, M. S., REZENDE, M. A., SOLER, R. R. L. Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto. **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 3, p. 257-262, 2015.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF**. Brasília, 2019. Disponível em:< <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/>>. Acesso em 20 de out. 2023.

SHIMIZU, J. Y. Pinus na silvicultura brasileira. **REMADE**, v. 16, n. 99, p. 4-14, set. 2006.

SHIMIZU, J. Y. Pínus na silvicultura brasileira. 1 jan. 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/315381>.

SIMÕES, J.W.; BRANDI, R.M.; MALINOVSKY, J.R. **Formação de florestas com espécies de rápido crescimento** Brasília: IBDF/PNUD/FAO, 1976. 74 p. (Série divulgação PNUD/FAO/IBDF/BRA-45,6).

SMITH, W.D.; STRUB, M.R. Initial Spacing: How Many Trees to Plant. In: FOREST REGENERATION MANUAL. London: Kluwer Acad. Pub, 1991. p. 281-320.

SPONHOLZ, I. K. **Distribuição diamétrica dos tratamentos com menores e maiores espaços vitais**. Guarapuava, 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro-Oeste.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais**. Piracicaba, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agronomia). Universidade de São Paulo.

TORRES, I.; MORENO, J. M; MORALES, M, C.; ARIANOUTSOU, M. Ecosystem services provided by pine forests. **Pines and their mixed forest ecosystems in the Mediterranean Basin**, p. 617-629, 2021.

VALE, A. B. **Densidade inicial de plantio e seus efeitos na produção de biomassa e carbono, no crescimento e no sortimento de madeira de *Pinus taeda* L.** Irati, 2020. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro-Oeste.

VASQUES, A. G; NOGUEIRA, A. S; KIRCHNER, F. F; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 445-450, 2007.

WATZLAWICK, L. F.; BENIN, C. C. Variáveis dendrométricas e produção de *Eucalyptus benthamii* em diferentes espaçamentos. **Colloquium Agrariae**, vol. 16, no. 6, p. 111–120, 3 nov. 2020. DOI 10.5747/ca.2020.v16.n6.a413. Disponível em: <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n6.a413>.

Apêndice 1

TESTES DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV E DE HOMOGENEIDADE DE BARTLETT PARA AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS ANALISADAS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. EM IRATI, PARANÁ

Variável	Normalidade		Homogeneidade	
	K-S	p-valor	X ²	p-valor
\bar{d}	0,085	0,876	5,169	0,739
dg	0,088	0,848	5,016	0,756
\bar{h}	0,135	0,356	4,850	0,774
\bar{g}	0,056	0,998	7,333	0,501
G	0,149	0,244	5,777	0,672
\bar{v}	0,082	0,899	7,865	0,447
V	0,169	0,137	6,764	0,562

FONTE: A autora (2024)

Onde: \bar{d} = Diâmetro médio aritmético; dg = Diâmetro médio quadrático; \bar{h} = Altura média; \bar{g} = Área transversal; G = Área basal; p-valor = valor exato do teste estatístico de Shapiro-Wilk e de Bartlett.

Apêndice 2

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS ANALISADAS EM UM PLANTIO DE *Pinus taeda* L. EM IRATI, PARANÁ

Diâmetro médio aritmético (cm)					
FV	GL	SQ	MQ	F	valor-P
Tratamento	1191,170	148,896	91,641	1191,170	<0,001**
Bloco	2,197	0,549	0,338	2,197	0,850
Resíduos	51,993	1,625		51,993	

**e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Quadrado médio.

Diâmetro médio quadrático (cm)					
FV	GL	SQ	MQ	F	valor-P
Tratamento	8	1197,977	149,747	85,535	<0,001**
Bloco	4	2,477	0,619	0,354	0,839
Resíduos	32	56,023	1,751		

**e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Quadrado médio.

Altura total média (m)					
FV	GL	SQ	MQ	F	valor-P
Tratamento	8	22,411	2,801	0,835	0,103**
Bloco	4	28,230	7,057	2,105	0,579
Resíduos	32	107,297	3,353		

**e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Quadrado médio.

Área transversal média (m ²)					
FV	GL	SQ	MQ	F	valor-P
Tratamento	8	0,025	0,003	81,048	<0,001**
Bloco	4	0,0001	0,000	0,490	0,743
Resíduos	32	0,001	0,000		

**e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Quadrado médio.

Área basal (m² ha⁻¹)					
FV	GL	SQ	MQ	F	valor-P
Tratamento	8	1245,095	155,637	4,662	<0,001**
Bloco	4	137,728	34,432	1,031	0,406
Resíduos	32	1068,187	33,381		

**e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Quadrado médio.

Volume (m³)					
FV	GL	SQ	MQ	F	valor-P
Tratamento	8	3,731	0,466	74,245	<0,001**
Bloco	4	0,011	0,003	0,448	0,773
Resíduos	32	0,201	0,006		

**e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Quadrado médio.

Volume total com casca por hectare					
FV	GL	SQ	MQ	F	valor-P
Tratamento	8	198222,660	24777,832	4,915	<0,001**
Bloco	4	20854,920	5213,730	1,034	0,405
Resíduos	32	161319,840	5041,245		

**e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; SQ – Soma dos quadrados; MQ – Quadrado médio.