

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

HASSAN CAMIL DAVID

AVALIAÇÃO DE SÍTIO, RELAÇÕES DENDROMÉTRICAS E OTIMIZAÇÃO DE
REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* L. NOS ESTADOS
DO PARANÁ E DE SANTA CATARINA



CURITIBA

2014

HASSAN CAMIL DAVID

AVALIAÇÃO DE SÍTIO, RELAÇÕES DENDROMÉTRICAS E OTIMIZAÇÃO DE
REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* L. NOS ESTADOS
DO PARANÁ E DE SANTA CATARINA

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

Orientador:
Professor Dr. Sylvio Péllico Netto

Coorientador:
Professor(a) Dr^a. Ana Paula Dalla Corte
Dr. Julio Eduardo Arce

CURITIBA

2014



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da
Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER
Defesa nº. 1011

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Hassan Camil David* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**AVALIAÇÃO DE SÍTIO, RELAÇÕES DENDROMÉTRICAS E OTIMIZAÇÃO DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* L. NOS ESTADOS DO PARANÁ E DE SANTA CATARINA**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **MANEJO FLORESTAL**.

Dr. Doâdi Antônio Brena
Universidade Federal de Santa Maria
Primeiro examinador

Dr. Edilson Batista de Oliveira
Embrapa/Florestas
Segundo examinador

Dr. Sylvio Pellico Netto
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 06 de fevereiro de 2014.

Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Jorge Luis Monteiro de Matos
Vice-coordenador do curso

BIOGRAFIA DO AUTOR

Hassan Camil David, nascido em 16 de maio de 1989 no município de Nanuque, estado de Minas Gerais. Filho de Camil Cheab David e Vera Lúcia Rodrigues dos Santos. Neto dos avós paternos Cheab Mamed David e Vitória Almeida e dos avós maternos Arthur dos Santos e Almerinda Rodrigues dos Santos. Realizou seus estudos principalmente no Colégio Santo Antônio na cidade natal, onde residiu até os dezessete anos de idade. Em 2007 mudou-se para a cidade de Alegre, estado do Espírito Santo, para realizar o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Posteriormente se mudou temporariamente para o sul do estado da Bahia, onde estagiou por seis meses na empresa Fibria Celulose S.A. Logo em seguida, em fevereiro do ano de 2012, foi para Curitiba, capital paranaense, onde realizou paralelamente os cursos de MBA em Gestão e Desenvolvimento Empresarial, pela UNINTER e mestrado em Engenharia Florestal, pela Universidade Federal do Paraná.

*Aos meus pais Camil Cheab David e
Vera L. R. dos Santos e ao meu
irmão Tarsis Camil David*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao supremo Deus.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de estudo e aquisição do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Ao Professor Dr. Sylvio Péllico Netto, pela orientação, apoio, ensinamentos, e pelos bons bate-papos durante o “cafezinho” no laboratório o qual fazíamos parte.

Aos Professores Dr^a. Ana Paula Dalla Corte e Dr. Julio Eduardo Arce, por transpassar sabedoria por meio da coorientação, contribuindo expressivamente na elaboração do presente trabalho. Também aos membros da banca, sendo eles Professor Dr. Doádi Antônio Brena, Dr. Edilson Batista de Oliveira e Professor Dr. Sebastião do Amaral Machado, por lerem e contribuírem para o aperfeiçoamento do presente trabalho.

À empresa Brasil Florestal Engenharia, em especial ao Diretor Florestal Ataides Marinheski Filho, pela parceria e disponibilidade de dados para realização do presente trabalho.

Aos demais professores que ministraram disciplinas que tive oportunidade de assistir, contribuindo para a minha formação.

Aos meus amigos e colegas da faculdade Ana, Ângelo, Allan, Calango, Fafá, Gábi, Loarena, Pedro, Rodrigo, Rogério e Sintia, que proporcionaram momentos de felicidade, companheirismo e aprendizagem, bem como a parceria para a publicação de trabalhos científicos.

À Luiza Baum, por dividirmos bons momentos juntos, tornando meu cotidiano mais prazeroso de ser vivido.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

Enfim, ao povo brasileiro que paga seus impostos e mantém o ensino público, o qual sou fruto e não posso deixar de agradecer.

Cordialmente, muito obrigado!

There' s a big... a big hard sun
beating on the big people
in the big hard world...

Eddie Vedder

RESUMO

O cultivo de *Pinus* spp. é uma prática comum no Sul do Brasil, devido a alta demanda por empresas que utilizam sua madeira como matéria-prima. O manejo de povoamentos com essas espécies muitas vezes leva o manejador a tomar decisões difíceis, pois, além da complexidade da interação entre variáveis pertinentes à sua produção, ainda é desejável que a decisão seja ótima no quesito técnico-econômico. Diante da serventia de informações atualizadas que subsidiam manejadores a conduzirem florestas de *Pinus* spp., este trabalho foi realizado focando duas vertentes: 1) Atualizar a literatura florestal no que se refere às boas práticas de manejo de *P. taeda* no Sul do Brasil e 2) Manter produtores florestais informados em conhecimentos que são úteis ao desenvolvimento de seus ativos florestais. Para isso, foram produzidos três capítulos que abordam sobre: 1) Capacidade produtiva de *P. taeda* em parte dos estados do Paraná e de Santa Catarina; 2) Avaliação do efeito de regimes de desbaste e do sítio florestal em povoamentos de *P. taeda*, no estado de Santa Catarina e 3) Otimização da receita e do volume em regimes de manejo distintos em densidade de árvores, regime de desbaste e idade de corte raso. No Capítulo I foram ajustados modelos para representar a curva média da relação altura dominante e idade e, assim, foi utilizado o método da curva-guia para produzir as curvas de sítio florestal. No Capítulo II foi conduzido um experimento florestal delineado em blocos casualizados, no qual os tratamentos eram os regimes de desbaste e os blocos os sítios florestais. Foram efetuados cinco desbastes mistos com corte sistemático de uma a cada cinco linhas de plantio mais 66%, 54%, 42%, 30% e 19% de árvores do dossel inferior. Os tratamentos foram repetidos quatro vezes, ou seja, os cinco regimes de desbaste foram realizados em sítio I, II, III e IV. As parcelas experimentais foram modeladas em suas relações hipsométricas e volumétricas. Por fim, o objetivo do Capítulo III foi simular a produção do volume de madeira em 336 regimes de manejo e buscar o ótimo visando à maximização do valor presente líquido anualizado e do volume de madeira. Os regimes de manejo eram distintos em: espaçamento de plantio, correspondentes às densidades de 1.111, 1.600, 2.000 e 2.500 plantas por hectare; regimes de desbaste, em que foram simulados três tipos, que foram combinados em três ordens de aplicação e, por fim, em quatro idades de corte raso. Para isso, foi empregado o *software* OpTimber para otimização, o qual tem vinculado em seu sistema interno os *softwares* SisPinus, de simulação do crescimento de *Pinus* spp. no Sul do Brasil e o LINGO, para otimização de problemas lineares e não-lineares.

Palavras-chave: Manejo florestal. Capacidade produtiva. Desbaste misto. Relações hipsométrica e volumétrica. Otimização.

ABSTRACT

The cultivation of *Pinus* spp. is a common practice in southern Brazil due to high demand by companies that use its wood as raw material. The forest management with this species often leads the foresters to take difficult decisions, because of the complexity of interactions between relevant variables related to the production, still it is desirable that he besides decides on the optimum techno-economic aspect. Due to lack of information update which subsidize foresters to conduct *Pinus* spp. stands, this study was conducted focusing on two aspects: 1) update the forestry literature regarding the best management practice of *P. taeda* in Southern Brazil and 2) keep the forester informed on knowledge that is useful for the better conduction of his stands. For this, three chapters were written that deal about: 1) Productive capacity of *P. taeda* in part of Parana and Santa Catarina states; 2) Evaluate the effect of thinning and site index in *P. taeda* stands, in Santa Catarina state and 3) Optimize the income and the timber production by logs assortment in different management regimes, in various densities, thinning applications and crop rotation periods. In Chapter I it were used nonlinear models to fit the average dominant height curve by age and thus was utilized the guide curve method to produce the site forest curves. In Chapter II it was conducted a forest experiment designed in randomized blocks, in which the treatments were the thinnings and the forest sites the blocks. Five mixed thinnings were conducted with systematic cut of every fifth line and 66%, 54%, 42%, 30% and 19% of dominated trees. The treatments had four replications, in other words the five thinnings were conducted in plots with sites I, II, III and IV, and hypsometric and volumetric models were fitted to all experimental plots. Finally the Chapter III aimed at to simulate the timber production in 336 different managements, considering: different plant densities including 1,111; 1,600; 2,000 and 2,500 trees per hectare; thinnings, in which three types of them were simulated to be combined with three application sequences; and four timber crop periods. For this, it was used the software OpTimber for optimization, to which is linked the softwares SisPinus for *Pinus* spp's growth simulation and the LINGO for optimization linear and non-linear problems inside its system.

Key-words: Timber management. Productive capacity. Mixed thinning. Hypsometric and volumetric relations. Optimization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CURVAS ANAMÓRFICAS (A), POLIMÓRFICAS DISJUNTAS (B) E POLIMÓRFICAS NÃO-DISJUNTAS (C) PARA ÍNDICES DE SÍTIO EM FUNÇÃO DA IDADE.27

FIGURA 2 – NÍVEIS DE DESBASTE POR BAIXO COM RETIRADA DE ÁRVORES SUPRIMIDAS OU DOMINADAS – S; INTERMEDIÁRIAS – I E CODOMINANTES – C E PREDOMINÂNCIA DE DOMINANTES – D.33

FIGURA 3 – DESBASTE POR CIMA COM RETIRADA DE ÁRVORES INTERMEDIÁRIAS – I; CODOMINANTES – C E DOMINANTES – D, COM PREDOMINÂNCIA DAS SUPRIMIDAS OU DOMINADAS – S.34

FIGURA 4 – DESBASTE SELETIVO COM RETIRADA DE ÁRVORES DOMINANTES – D, COM PREDOMINÂNCIA DAS INTERMEDIÁRIAS – I; CODOMINANTES – C E SUPRIMIDAS OU DOMINADAS – S.35

FIGURA 5 – DESBASTE MECÂNICO COM SISTEMATIZAÇÃO DE RETIRADA DA QUINTA LINHA DE PLANTIO.36

CAPÍTULO I

FIGURA 6 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS UTILIZADAS COMO FONTE DE DADOS DA PESQUISA.38

FIGURA 7 – RESÍDUOS DA ESTIMATIVA PELOS MODELOS DE BAILEY 4P. (A) E PRODAN (B), PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS EM *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.54

FIGURA 8 – CLASSES DE SÍTIO COM IDADE-ÍNDICE DE 15 ANOS PARA *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.55

FIGURA 9 – TESTE DE ANAMORFISMO DE CURVAS DE SÍTIO, EM QUATRO IDADES DE *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.58

FIGURA 10 – COMPORTAMENTO DA ALTURA DOMINANTE MÉDIA ENTRE (A) E DENTRO (B) DE PARCELAS, EM FUNÇÃO DA IDADE, PARA *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.59

CAPÍTULO II

FIGURA 11 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE PARCELAS EXPERIMENTAIS EM *Pinus taeda*, NO ESTADO DE SANTA CATARINA.70

FIGURA 12 – SIMULAÇÕES DA DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS DE ÁRVORES (A) E ÁREA BASAL DE POVOAMENTOS (B) EM REGIMES DE DESBASTE COM PESOS DIFERENTES.78

FIGURA 13 – DISPERSÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS DA ESTIMATIVA DE ALTURAS TOTAIS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.82

FIGURA 14 – ALTURAS ESTIMADAS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO I (A), II (B), III (C) e IV (D) DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.83

FIGURA 15 – DISPERSÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS DA ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.86

FIGURA 16 – TENDÊNCIAS DAS ESTIMATIVAS DE VOLUME INDIVIDUAL EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO I (A), II (B), III (C) e IV (D) DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.87

CAPÍTULO III

FIGURA 17 – VALORES PRESENTES LÍQUIDOS ANUALIZADOS PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO I. 112

FIGURA 18 – VALORES PRESENTES LÍQUIDOS ANUALIZADOS PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO II. 114

FIGURA 19 – VALORES PRESENTES LÍQUIDOS ANUALIZADOS PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO III. 116

FIGURA 20 – VALORES PRESENTES LÍQUIDOS ANUALIZADOS PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO IV. 117

FIGURA 21 – VOLUME (m³/ha) POR SORTIMENTO DE PLANTIOS COM 1.600 PLANTAS POR HECTARE, PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE *Pinus taeda* SELECIONADOS PELO VPLA ÓTIMO. 121

FIGURA 22 – REGIMES DE MANEJO COM PLANTIO DE 1.600 PLANTAS POR HA, SIMULADOS PARA SÍTIO I E COM CORTE RASO AOS 17 (A), 20 (B), 22 (C) E 25 (D) ANOS. 122

FIGURA 23 – VOLUMES TOTAIS OBTIDOS EM SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO I. 123

FIGURA 24 – VOLUMES TOTAIS OBTIDOS EM SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO II. 125

FIGURA 25 – VOLUMES TOTAIS OBTIDOS EM SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO III. 126

FIGURA 26 – VOLUMES TOTAIS OBTIDOS EM SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO IV. 127

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TIPOS DE SOLO ENCONTRADOS NA ÁREA DE ESTUDO, EM PARTE DO ESTADO DO PARANÁ E SANTA CATARINA.....41

CAPÍTULO I

TABELA 2 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIÁVEIS COLETADAS EM PARCELAS DE *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.50

TABELA 3 – MODELOS NÃO-LINEARES AJUSTADOS PARA CLASSIFICAR SÍTIOS FLORESTAIS DE *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.51

TABELA 4 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DE MODELOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS DE *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.....53

TABELA 5 – LIMITES DE CLASSES DE SÍTIO COM IDADE-ÍNDICE DE 15 ANOS PARA *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.56

CAPÍTULO II

TABELA 6 – EXPERIMENTAÇÃO DE REGIMES DE DESBASTE EFETUADOS EM QUATRO SÍTIOS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.71

TABELA 7 – MODELOS HIPSOMÉTRICOS TRADICIONAIS AJUSTADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda* AOS 12 ANOS DE IDADE, EM SANTA CATARINA.72

TABELA 8 – MODELOS VOLUMÉTRICOS AJUSTADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda* AOS 12 ANOS DE IDADE, EM SANTA CATARINA.72

TABELA 9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS AJUSTADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.74

TABELA 10 – POSSIBILIDADES DE AGRUPAMENTO DE TRATAMENTOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.75

TABELA 11 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS E TESTE TUKEY (95% DE PROBABILIDADE) APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.77

TABELA 12 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA SELECIONADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.81

TABELA 13 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DE MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL SELECIONADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA. 84

TABELA 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE F DE GRAYBILL PARA MODELOS HIPSOMÉTRICOS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA. 88

TABELA 15 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE F DE GRAYBILL PARA MODELOS VOLUMÉTRICOS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA. 89

TABELA 16 – RESUMO DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS E VOLUMÉTRICAS APLICADAS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA. 90

CAPÍTULO III

TABELA 17 – ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO EMPREGADOS PARA SIMULAÇÃO DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda*. 103

TABELA 18 – QUANTIFICAÇÃO DE TRATAMENTOS SILVICULTURAIS E COMBINAÇÃO PARA OS REGIMES DE MANEJO. 104

TABELA 19 – DESCRIÇÃO DE DIMENSÕES E PREÇO DE TORAS POR SORTIMENTOS. 107

TABELA 20 – CUSTOS DE ATIVIDADES SILVICULTURAIS DE *Pinus taeda* NO ANO DE 2013. 110

TABELA 21 – REGIMES DE MANEJO ÓTIMOS VISANDO O VALOR PRESENTE LÍQUIDO ANUALIZADO, PARA *Pinus taeda* EM QUATRO SÍTIOS FLORESTAIS. 118

TABELA 22 – REGIMES DE MANEJO ÓTIMOS VISANDO A PRODUÇÃO EM VOLUME, PARA *Pinus taeda* EM QUATRO SÍTIOS. 128

TABELA 23 – REGIMES DE MANEJO ALTERNATIVOS VISANDO A MAXIMIZAÇÃO DO VPLA E DO VOLUME, PARA *Pinus taeda* EM QUATRO SÍTIOS. 130

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO III

QUADRO 1 – ORGANOGRAMA LINEAR DE RESPONSABILIDADE PARA REGIMES FACTÍVEIS DE MANEJO.	105
--	-----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	SÍTIOS FLORESTAIS	23
2.1.1	Conceito e aplicações.....	23
2.1.2	Índice de sítio.....	26
2.1.3	Curvas de sítio.....	28
2.2	DESBASTE	30
2.2.1	Conceito e objetivo	30
2.2.2	Propósitos para aplicação	31
2.2.3	Métodos.....	32
3	ÁREA DE ESTUDO	38
3.1	LOCALIZAÇÃO	38
3.2	ORIGEM DOS DADOS	39
3.3	CLIMA E VEGETAÇÃO.....	40
3.4	GEOLOGIA E PEDOLOGIA.....	40
	REFERÊNCIAS	42
	CAPÍTULO I	45
	CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO PARA <i>Pinus taeda</i> L., EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA	
1	INTRODUÇÃO	47
1.1	OBJETIVO GERAL	49
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	49
2	MATERIAL E MÉTODOS	50
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4	CONCLUSÕES	61
5	RECOMENDAÇÕES	62
	REFERÊNCIAS	63
	CAPÍTULO II	65

EFEITO DE REGIMES DE DESBASTE E DO SÍTIO EM VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE PLANTIOS DE *Pinus taeda* L., EM SANTA CATARINA

1	INTRODUÇÃO	67
1.1	OBJETIVO GERAL	69
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	69
2	MATERIAL E MÉTODOS	70
2.1	ÁREA E EXPERIMENTO DE ESTUDO	70
2.2	MODELAGEM MATEMÁTICA	72
2.2.1	Seleção de modelos	73
2.2.2	Teste de identidade entre modelos	74
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.1	EXPERIMENTAÇÃO FLORESTAL	77
3.2	RELAÇÕES DENDROMÉTRICAS	80
3.2.1	Hipsometria	81
3.2.2	Volumetria	84
3.3	IDENTIDADE DE MODELOS	88
4	CONCLUSÕES	92
5	RECOMENDAÇÕES	93
	REFERÊNCIAS	94

CAPÍTULO III **98**

OTIMIZAÇÃO DA RECEITA E DO VOLUME EM REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* L. NO SUL DO BRASIL

1	INTRODUÇÃO	100
1.1	OBJETIVO GERAL	102
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	102
2	MATERIAL E MÉTODOS	103
2.1	TRATAMENTOS SILVICULTURAIS	103
2.2	SORTIMENTO E VALORAÇÃO DE TORAS	106
2.3	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	107
2.3.1	Métodos avaliativos	107
2.3.2	Taxa de juros	109

2.3.3	Custos de implantação	110
2.4	ANÁLISE DE RESULTADOS	111
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	112
3.1	MAXIMIZAÇÃO DO VPLA.....	112
3.2	MAXIMIZAÇÃO DO VOLUME.....	123
3.3	REGIMES DE MANEJO ALTERNATIVOS.....	130
4	CONCLUSÕES	132
5	RECOMENDAÇÕES	134
	REFERÊNCIAS.....	136
	APÊNDICES	138

1 INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil a exploração irracional e insustentável de madeira possui um histórico desde o início de sua colonização. O risco de exaurimento de florestas naturais foi um dos aspectos que estimulou o governo brasileiro a criar alternativas para produção sustentável de madeira. Entre as décadas de 1960 e 1980 foram criadas políticas de incentivo fiscal ao plantio de florestas renováveis, permitindo que a área plantada com espécies florestais expandisse significativamente.

Do ponto de vista conservacionista e protecionista, a ideia de reflorestar e substituir a madeira de espécies nativas por exóticas foi uma alternativa sensata por parte do Estado, visto que as florestas naturais estavam fadadas ao desaparecimento. Antonangelo e Bacha (1998) explicam que nessa fase, os reflorestadores não se preocupavam com dispêndios, pois os incentivos arcavam generosamente com os custos de produção.

Nessa época encontravam-se ensaios em hortos florestais com as espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, cujo objetivo principal era suprir a demanda de madeira para a confecção de dormentes das estradas de ferro. Dentre as espécies plantadas, destacam-se *Pinus taeda* L., *P. elliottii* Engelm., *P. caribaea* Morelet. e *P. oocarpa* Schiede cultivadas nos estados do sul do país, devido a condicionante climática (ANTONANGELO; BACHA, 1998).

Com base em dados referentes ao ano de 2012, o território brasileiro é detentor de aproximadamente 6,66 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 23,4% correspondem a plantios de *Pinus spp.*, concentrados majoritariamente nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, totalizando em mais de 1,3 milhões de hectares, ou 84,7% do total de pinus cultivado no Brasil (ABRAF, 2013).

O número de indústrias nessa região que demandam de madeiras de coníferas justifica a relevante quantia dessas florestas, sendo elas, principalmente, indústrias de celulose e papel, painel de madeira industrializada e siderurgia a carvão vegetal (ABRAF, 2013).

A produção florestal é realizada pelas próprias indústrias ou empresas florestais, bem como produtores fomentados ou independentes. Contudo, o custo de

implantação de florestas, bem como o risco de investimento, dentre outros aspectos, faz com que o empreendedor atente-se às boas formas de condução florestal.

É desejável que o produto final, no caso a madeira, forneça o máximo de rendimento econômico ou em volume. Isso implica que as tomadas de decisão do manejador sejam efetuadas antes do plantio, durante o crescimento e no corte final dos povoamentos florestais. Além disso, a decisão de como, quanto e quando intervir na floresta deve ser condizente ao seu crescimento, visando seu destino final, o que confere a importância na condução de inventários florestais contínuos.

Por exemplo, considerando um plantio de *Pinus sp.* com densidade de 1.600 plantas por ha, destinado à produção de toras grossas, ou de alto valor agregado. Supondo que seu incremento em diâmetro alcance estagnação aos seis anos de idade, a necessidade de desbastar essa floresta provavelmente será diferente da época, do tipo e da intensidade de desbaste de outra floresta de mesma espécie e idade, porém com densidade de 1.000 árvores por ha.

A combinação dessas e outras variáveis tendem a infinitas possibilidades de regimes de manejo, porém um, e somente um deles alcança o ótimo, considerando certo objetivo, de uma dada floresta, para determinado fim. Schneider e Schneider (2008) explicam que o manejo florestal deve contar com solidez biológica e econômica, indicando que as atividades devem ser desenvolvidas de modo a propiciar o máximo de efetividade a baixos custos.

Ainda que se definam técnicas de manejo apropriadas para alguma espécie, o crescimento das florestas é dinâmico e varia, sobretudo, de acordo às condições edafoclimáticas e as práticas de manejo (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). Dentre os fatores de interesse para a produção florestal, Campos e Leite (2013) mencionam que a capacidade produtiva do local influencia no crescimento e na produção de povoamentos florestais, a qual pode ser estimada por método empírico ou por meio de índices quantitativos, como índice de local ou de sítio, obtido pela média das alturas dominantes de árvores do povoamento em uma idade-índice.

Embora existam múltiplas alternativas para a obtenção da capacidade da produção do local, o método de índice de sítio tem sido consolidado e empregado para espécies florestais, conforme efetuado por Martins *et al.* (2007), com *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, por Scolforo (1992), com *P. caribaea var. hondurensis*, por Scolforo e Machado (1988a), com *P. elliottii* e por Machado (1980), com *P. taeda*.

Todavia o índice de sítio é uma classificação local e seu emprego é limitado, visto que o crescimento em locais distintos propicia mudança do comportamento fisiológico da árvore, tornando-se intrínseco a cada espécie (DIÉGUEZ-ARANDA *et al.*, 2005, CLUTTER *et al.*, 1983). Alguns estudos de sítio têm sido feitos em nível mais aprofundado, em que se avalia o crescimento de diferentes clones de uma mesma espécie, conforme estudado por Tonini *et al.* (2006).

A classificação de sítios oferece vantagens para o manejador florestal, pois o povoamento pode ser estratificado em unidades equiprodutivas, o que facilita na determinação de regimes de manejo de acordo com o potencial produtivo local, servindo também para construção de tabelas de crescimento e produção. Além disso, a quantificação do estoque de madeira por meio de amostragem poderá ser menos onerosa, devido à redução da variância dentro dos estratos equivalentes em produção de madeira.

Outra informação de interesse ao manejador corresponde à densidade de árvores por unidade de área. Estudos revelam sua forte correlação com variáveis dendrométricas como diâmetro e volume individual, ao passo que a altura não mostra ser influenciada pelo espaçamento (ARAÚJO *et al.*, 2012; INOUE *et al.*, 2011; LEITE *et al.* 2006; BARTOSZECK *et al.*, 2004).

Conforme consolidado por diversos trabalhos da literatura florestal, o diâmetro é a variável dendrométrica mais correlacionada com o volume das árvores, logo o acompanhamento de seu incremento é empregado para determinação de desbastes. Foi observado por Assmann (1961) que a redução de árvores propicia mais espaço para o crescimento radial daquelas remanescentes, originando troncos mais grossos, o que agrega valor à madeira.

Considerando que o afinamento da árvore deriva na redução dos diâmetros com o aumento da altura do fuste, as toras próximas à base possuem dimensões superior àquelas cuja posição é mais elevada, conferindo multiprodutos para uma mesma árvore. Com isso, em uma floresta podem ser empregados diferentes sortimentos, os quais sofrem efeito mediante o regime de manejo adotado.

Diante disso, a determinação de práticas de manejo adequadas, incluindo desbastes, torna-se um exercício complexo, pois os mais variados cenários geram resultados diferentes no crescimento em diâmetro, altura, volume, sortimentos entre outros. Para essa finalidade a Embrapa desenvolveu um simulador florestal para *Pinus spp.* (SisPinus), estendendo-o posteriormente para *Eucalyptus spp.*

(SisEucalipto), em que ambos simulam a prognose de povoamentos florestais mediante a regimes de manejo desejados (OLIVEIRA, 1995).

Considerando o assunto abordado, este trabalho foi desenvolvido pensando em duas vertentes: 1) Manter a literatura florestal atualizada no que se refere às pesquisas em práticas de manejo de *P. taeda* cultivado no sul do Brasil, especificamente nos estados do Paraná e Santa Catarina; 2) Manter os produtores florestais informados em conhecimentos que são úteis ao desenvolvimento de seus ativos florestais, bem como ressaltar a importância de acompanhamento técnico de um profissional capaz de buscar a máxima rentabilidade de sua floresta.

Para melhor abordagem dos assuntos, foram elaborados três capítulos: 1) Capacidade de produção florestal em parte dos estados do Paraná e Santa Catarina; 2) Análise e acompanhamento de variáveis dendrométricas e suas tendências mediante os diferentes regimes de desbaste e sítios florestais, em Santa Catarina; 3) Emprego do *software* OpTimber, da empresa OpTimber Otimização e Informática Ltda., cuja função objetivo foi buscar o regime de manejo que maximize a receita e volume mediante a diferentes sortimentos, em vários cenários simulados para *P. taeda*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SÍTIOS FLORESTAIS

2.1.1 Conceito e aplicações

Husch *et al.* (1923) conceituam qualidade de sítio como um fator atrelado à produtividade de um povoamento florestal, adotando como referência o crescimento de medidas da árvore em um período de tempo ou média anual de incremento.

Todavia esses autores explanam que a medida largamente utilizada para a estimativa da qualidade de sítio é a altura das árvores, por ser pouco afetada pela densidade de árvores, o que torna inapropriado adotar medidas de diâmetros para classificação de sítio.

Clutter *et al.* (1983) explicam que o local ou sítio pode ser qualificado ou mesmo quantificado quanto à sua capacidade de produção. No contexto do manejo florestal, qualidade de sítio pode ser definida como o seu potencial de produção considerando uma espécie ou tipo florestal em particular.

Isso implica que sítios considerados bons para o desenvolvimento de uma determinada espécie florestal, pode não apresentar essa mesma qualidade para outra espécie qualquer, logo a capacidade produtiva local é uma importante informação inerente aos manejadores florestais, pois esse fator é determinante ao crescimento das espécies (CAMPOS; LEITE, 2013; CLUTTER *et al.*, 1983).

Em povoamentos inequiâneos com múltiplas espécies, ou seja, onde existe variação de idade e espécies, como em florestas naturais, Husch *et al.* (1923) citam que o conceito de sítio florestal não pode ser empregado, pois não existe uma relação no crescimento em altura em função das idades, o que torna a aplicação intrínseca aos povoamentos florestais equiâneos.

Clutter *et al.* (1983) explanam que a quantificação da qualidade do sítio florestal pode ser classificada por dois métodos, o direto e o indireto. No método direto podem ser adotados quatro meios para a estimativa:

1) Estimativa por registros históricos de produção

Este conceito tem aplicação diante da aproximação existente entre dados históricos do incremento da floresta com a qualidade de sítio onde ela cresce. Todavia, seu uso pode ser comprometido com a variação da idade de rotação, seleção da espécie florestal, estabelecimento da densidade, práticas culturais, dentre outras.

2) Estimativa baseada em dados de volume do povoamento

Em primeira instância, esta estimativa de sítio florestal em povoamentos florestais equiâneos parece ser uma alternativa óbvia, pois é admissível que seja forte a relação entre o volume em determinada idade e a capacidade produtiva local.

Contudo, o volume é afetado por outras variáveis que independem do sítio, por exemplo, a densidade de árvores e práticas silviculturais. Assim, o emprego dessa alternativa requer a condição de que os regimes de manejo sejam equivalentes em variáveis como as supracitadas, conferindo assim confiabilidade da estimativa do sítio florestal.

3) Estimativa baseada em dados de altura do povoamento

Para muitas espécies florestais, o local tem uma forte influência na altura dos povoamentos florestais equiâneos, ou seja, em sítios considerados bons, a taxa de crescimento em altura é alta e existe uma forte correlação positiva com a produção volumétrica.

Husch *et al.* (1923) citam que a aplicação de tal método é adequada para as árvores dominantes e codominantes de um povoamento, pois suas alturas são pouco influenciadas pela densidade de plantio, bem como desbastes (a não ser o desbaste por alto). Assim, a estimativa da qualidade de sítio envolve médias de alturas das árvores dominantes e codominantes e suas respectivas idades, em que ambas variáveis são utilizadas em modelos para classificar sítio, como dependente e independente, respectivamente.

Contudo, a aplicação dessa alternativa em espécies cujo crescimento em altura é influenciado pela densidade de árvores pode ser procedida mediante um ajuste de uma relação que corrija esse efeito nas alturas das árvores.

4) Estimativa baseada em dados de crescimento periódico de altura

Esta alternativa para avaliar a qualidade de sítio é empregada quando se tem dados de crescimento corrente em altura, obtidos em curto período de tempo dos povoamentos, e por isso também é conhecido como o método do crescimento intercepto. Embora sua aplicação pudesse ser efetuada para qualquer espécie, esta técnica é empregada apenas às espécies que dispõem de verticilos laterais anuais bem definidos.

Em termos práticos, o método envolve a mensuração da distância de um número de sucessivos verticilos anuais, iniciando de algum ponto pré-definido no tronco da árvore, o qual geralmente é adotado próximo ou acima da altura do peito, visto que o crescimento inicial em altura é significativamente afetado pelo sub-bosque.

O crescimento então é estimado, em períodos anuais, mediante a mensuração da distância entre os verticilos. Com isso, procede-se o ajuste de modelos matemáticos que envolvem o índice de sítio em função dos valores de interceptos em determinado período de anos.

Em relação ao método indireto, Clutter *et al.* (1983) citam as seguintes alternativas para a estimativa pelo método indireto:

1) Estimativa por relações históricas entre espécies

Tal aplicação é adequada quando a espécie de interesse não está presente na área do povoamento avaliado, portanto, para viabilizar o uso dessa alternativa é necessário o conhecimento da relação dos índices de sítio entre duas espécies distintas, em que uma delas ocorra no povoamento de interesse.

Assim, diante de pares de dados do crescimento em altura em função do índice de sítio para duas espécies, procede-se uma regressão linear para estimar o sítio de uma espécie em função de outra conhecida.

2) Estimativa pelas características da vegetação do sub-bosque

Esta alternativa é viável considerando que os fatores ambientais afetam tanto a vegetação alta (lenhosas) quanto a baixa (herbáceas), portanto, as características das vegetações de sub-bosque podem ser empregadas para estimar a qualidade de sítio para o crescimento de árvores. Não obstante, as espécies do sub-bosque funcionam como um excelente indicador da umidade superficial do solo, bem como de sua fertilidade nos horizontes e camadas superficiais.

Em termos práticos, a altura dominante de árvores pode ser correlacionada com a composição florística da vegetação natural, podendo ser definidos grupos de índices de sítio conforme efetuado por Ure (1950) citado por Clutter *et al.* (1983).

3) Estimativa por fatores topográficos e edafoclimáticos

A premissa de que fatores ambientais são bons estimadores da qualidade de sítio confere a possibilidade de aplicabilidade na estimativa do crescimento de árvores. Clutter *et al.* (1983) citam alguns autores que empregaram variáveis topográficas, climáticas e do solo em modelos de regressão linear para estimar a capacidade de sítio para espécies florestais de interesse.

Espessura do solo, quantidade de água disponível do solo, profundidade da textura fina de horizontes do solo, dentre outras, são exemplos de variáveis que podem ser empregadas por este meio de estimativa, conforme apresentado em Clutter *et al.* (1983).

2.1.2 Índice de sítio

Campos e Leite (2013) citam que índice de sítio é uma medida quantitativa para representar a capacidade produtiva, em que comumente utilizam-se alturas dominantes em função da idade de árvores em povoamentos florestais equiâneos, devido à sua aplicabilidade em modelos de crescimento e produção. Os índices de sítio podem ser feitos graficamente (curvas de sítio) ou por tabelas.

Clutter *et al.* (1983) explicam que o desenvolvimento de equações de índices de sítio podem ser provenientes de três fontes de dados: 1) mensuração das alturas em parcelas temporárias; 2) mensuração das alturas em parcelas permanentes e 3) reconstrução da relação altura/idade via análise completa de tronco (ANATRO), cabível em espécies com anéis de crescimento bem definidos.

Em relação às parcelas temporárias, apesar de serem menos dispendiosas em comparação às outras duas fontes de dados, apresentam menor confiabilidade do crescimento em altura, devido a possíveis incompatibilidades entre parcelas diferentes. Embora parcelas permanentes sejam mais dispendiosas para serem amostradas, elas são isentas dessas incompatibilidades, pois as árvores amostradas são remeidas consecutivamente, podendo ser substituídas quando perdem a categoria de dominantes ou codominantes.

Por fim, a análise completa de tronco é uma alternativa que deriva a reconstituição do crescimento em altura em toda vida das árvores. É uma técnica dispendiosa, mas fornece dados confiáveis, com vantagem de poder ser empregada com auxílio de *softwares* computacionais.

Campos e Leite (2013) explicam que a adequada classificação da capacidade produtiva deve ser procedida seguindo um critério de construção e aplicação das curvas, que podem ser classificadas em anamórficas, polimórficas disjuntas e polimórficas não-disjuntas (Figura 1).

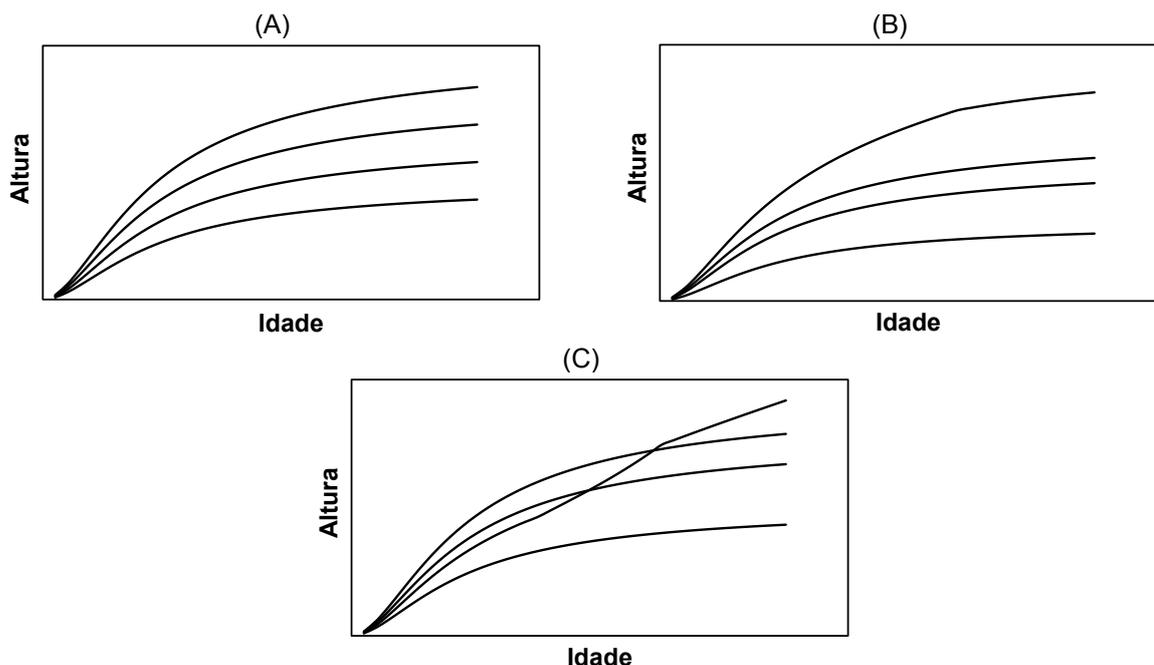


FIGURA 1 – CURVAS ANAMÓRFICAS (A), POLIMÓRFICAS DISJUNTAS (B) E POLIMÓRFICAS NÃO-DISJUNTAS (C) PARA ÍNDICES DE SÍTIO EM FUNÇÃO DA IDADE.
 FONTE: Clutter *et al.* (1983), modificado pelo autor (2014).

Campos e Leite (2013) citam que qualquer fonte de dados pode gerar curvas anamórficas, ao passo que as polimórficas podem ser geradas apenas por meio de dados de parcelas permanentes ou de ANATRO, além de métodos que possibilitem a flexibilidade nas diferentes formas das curvas.

2.1.3 Curvas de sítio

Clutter *et al.* (1983) mencionam que existem muitas técnicas de ajuste das curvas de sítio, entretanto as três principais são: 1) método da curva-guia; 2) método da equação das diferenças e 3) método da predição de parâmetros. Campos e Leite (2013) citam, além desses três, o método da atribuição preliminar de índices de local e o método de Hammer.

Esses autores mostram que a classificação de sítios pode ser feita por meio do ajuste de modelos matemáticos utilizando quaisquer dos métodos citados. Regazzi (2003) explica que os modelos lineares simples (uma variável independente) ou múltiplos (mais de uma variável independente) são eficientes em eventos cujos grupos de variáveis independentes explicativas possuem tendências lineares ou em crescimento inicial de organismos biológicos.

Contudo, ao estimar o comportamento biológico em idades mais avançadas, Regazzi (2003) elucida que os modelos biológicos não-lineares apresentam uma melhor flexibilidade em comparação aos lineares. Diante disso, comumente são ajustados modelos não-lineares para estimar a curva média de altura dominante em função da idade para classificar sítios florestais, em que alguns deles podem ser consultados em Campos e Leite (2013), Schneider e Schneider (2008) e Clutter *et al.* (1983)

Em relação à primeira técnica de ajuste, Clutter *et al.* (1983) explicam que o método da curva-guia geralmente é empregado com o ajuste de equações anamórficas para classificar os sítios, logo a fonte de dados pode ser proveniente de parcelas permanentes, temporárias ou análise de tronco.

Os autores destacam o modelo de Schumacher para o ajuste de curvas de sítio usando esse método. Sua fórmula original é dada por $H_i = K_{0i} \cdot e^{\beta_1 \cdot A^{-1}}$ (1), cuja

linearização resulta em $\ln(H_i) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{1}{A}\right)$ (2), em que H_i : altura dominante; A : idade; β_0 , β_1 : parâmetros do modelo; e : exponencial e \ln : logaritmo neperiano.

Dias *et al.* (2005), estudando povoamentos de eucaliptos desbastados, compararam a eficiência dos métodos da curva-guia, equação das diferenças e predição de parâmetros para a construção das curvas de índices de sítio e concluíram que o método da curva-guia foi o mais adequado para efetuar tal procedimento. Resultado também observado por Cruz *et al.* (2008), ao avaliarem diferentes métodos para construção de curvas de sítio para *Tectona grandis* (Linn F.), no estado do Mato Grosso.

Segundo Clutter *et al.* (1983), o método da equação das diferenças difere do da curva-guia, pois naquele se faz necessário remedições de uma mesma parcela ou árvore, mas os dados também podem ser provenientes de ANATRO. Os autores ainda relatam que aquele método destaca-se pela sua flexibilidade, podendo ser produzidas curvas da família anamórfica ou polimórfica.

Diéguez-Aranda *et al.* (2005) utilizaram o método da equação das diferenças e testaram sete modelos para classificar sítios de *Pinus sylvestris* L. em Galicia, noroeste da Espanha. Os autores concluíram que o método foi eficiente para retratar sítios dessa espécie empregando o modelo de McDill & Amateis, expresso por $\frac{\partial H}{\partial A} = \left(1 - \frac{H}{b_0}\right) b_1 \cdot \frac{H}{A}$ (3), em que H : altura dominante; A : idade e b_0 e b_1 : parâmetros do modelo. Outros exemplos de aplicação do método podem ser visto em Campos; Leite (2013) e Clutter *et al.* (1983).

Em relação ao método da predição dos parâmetros, Clutter *et al.* (1983) explicam que o procedimento requer dados de parcelas permanentes remedidas ou de análise de tronco completa, em que o método proporciona equações de índice de sítio polimórficas disjuntas. A construção das curvas de sítio compreende em:

- a) Ajustar um modelo atribuindo altura em função da idade a cada parcela permanente ou árvore submetida à ANATRO;
- b) Calcular o índice de sítio atribuindo uma idade-índice para os modelos ajustados para cada parcela ou árvore;
- c) Relacionar os parâmetros estimados com os índices de local por meio de um modelo linear ou não-linear.

A título de exemplo, considere o modelo (1) de Schumacher $H_i = K_{0i} \cdot e^{\beta_1 \cdot A^{-1}}$ citado anteriormente. Ao utilizar dados de parcelas permanentes, o modelo deve ser ajustado isoladamente a cada uma delas. Em seguida, atribui-se a idade-índice na equação para retornar o índice de sítio (IS). Por fim, ajusta-se um modelo para estimar os parâmetros K_{0i} e β_1 em função do IS, tal como: $K_{0i} = a_1 + a_2 \cdot IS$ (4) e $\beta_1 = a_3 + a_4 \cdot IS$ (5), então o modelo (1) é reformulado para $H_i = a_1 + a_2 \cdot IS \cdot e^{a_3 + a_4 \cdot IS \cdot A^{-1}}$ (6), em que a_i são parâmetros da regressão linear.

Clutter *et al.* (1983) citam que esse método possui três limitações de uso: 1) Os modelos (4) e (5) geralmente derivam em curvas de índice de sítio que não passam na altura correspondente à idade-índice, demandando que as curvas sejam proporcionalmente ajustadas; 2) Como os modelos (4) e (5) são ajustados com emprego do IS, a idade-índice afeta diretamente no valor dos parâmetros, portanto, diferentes curvas são obtidas mediante a escolha de idades-índice e 3) Para alguns modelos de sítio, o equivalente ao modelo (6) não pode ser resolvido para IS, dado H e A. Nesse caso, o índice de sítio pode ser determinado apenas via método gráfico ou por métodos iterativos computacionais.

2.2 DESBASTE

2.2.1 Conceito e objetivo

Os desbastes podem ser provenientes de um processo natural ou por intervenção silvicultural ou antrópica, em que o objetivo é reduzir a competição por luz, umidade e nutrientes do solo entre as árvores da floresta (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Esses autores explicam que os desbastes naturais resultam do processo de seleção, em que um número máximo de indivíduos resistentes, detentores de uma maior longevidade e competitivos entre si comporão as florestas. Contudo, os autores salientam que a eliminação natural por competição é um processo longo por todo transcurso da vida das florestas e afeta as árvores em grau desuniforme.

Para Schneider e Schneider (2008) a competição entre os indivíduos do povoamento varia de acordo com seu grau de dominância, pois as árvores dominantes e codominantes sofrem menos com a competição que as suprimidas, sendo que a cobertura de copa reflete a classe de posicionamento da árvore, como dominante, codominante ou suprimida.

Em relação ao desbaste realizado artificialmente, Campos e Leite (2013) conceituam-no como uma remoção de certa quantidade de árvores com finalidade de se reduzir a competição entre elas, pois aumenta o espaço para crescimento das árvores remanescentes. A técnica resulta no favorecimento da produção contínua de madeira, visto que os desbastes antecipam a colheita uma vez realizada apenas no corte raso.

Os autores explicam que após a decisão de desbastar uma floresta, surge a necessidade de definir a idade do primeiro desbaste, o ciclo de desbastes e sua intensidade ou peso, devendo ser coerentes com a finalidade destinada à floresta, com o cenário do mercado atual, bem como com os custos de execução.

2.2.2 Propósitos para aplicação

Campos e Leite (2013) relatam que alguns dos benefícios de aplicação dos desbastes correspondem à antecipação do tempo para obter árvores de diâmetros maiores e de tronco uniforme, além do maior rendimento volumétrico no processamento da madeira, pois é favorecido o crescimento de árvores com troncos superiores em qualidade, forma e sanidade.

Daniel *et al.* (1979) explicam que a aplicação de desbastes é feita com intuito de alcançar certo número de objetivos, embora nenhum método proporcione todos eles conjuntamente. Os autores citam como propósitos para aplicar desbastes:

- a) O principal deles é aproveitar e utilizar o material que normalmente seria perdido devido à mortalidade natural de árvores do povoamento, que corresponde a aproximadamente 25% a 35% da produtividade total.
- b) Incrementar a produção volumétrica dos indivíduos remanescentes.

- c) A produção em volume final em povoamentos desbastados geralmente é maior que aqueles não desbastados.
- d) Povoamentos desbastados comumente possuem alto valor de produção.
- e) A prática de desbastes permite que o manejador faça a escolha das árvores a serem retiradas, ao invés da seleção natural, possibilitando que apenas árvores desejáveis remanesçam nos plantios.
- f) Com exceção do desbaste seletivo, os desbastes reduzem a rotação se a sua idade é determinada pela obtenção de certo valor de diâmetro de árvore.
- g) A prática de desbastes alonga o tempo de rotação se esse for determinado pela idade em que o crescimento das árvores torna-se substancialmente baixo, ou se é baseada pelo máximo incremento médio anual.
- h) A prática de desbastes propicia a antecipação da receita e aumenta a taxa de retorno do investimento.

2.2.3 Métodos

Para estabelecer as árvores a serem retiradas e conduzidas no povoamento, Smith *et al.* (1996) citam cinco métodos de desbaste: 1) por baixo; 2) por cima; 3) o seletivo; 4) o geométrico ou mecânico e 5) o livre. Os três primeiros deles são baseados na posição da copa das árvores no dossel. No quarto, o critério obedece ao espaçamento das árvores no povoamento e, por fim, o desbaste livre é uma combinação simultânea entre os outros quatro métodos, geralmente aplicada em povoamentos de estrutura irregular.

Smith *et al.* (1996) explicam os métodos de desbaste conforme os critérios de seleção das árvores:

1) Desbaste por baixo

Também conhecido como desbaste alemão, esse método consiste em remover árvores com copa no dossel inferior, ou seja, o procedimento imita a taxa de mortalidade natural (autodesbaste) que ocorreria no desenvolvimento normal dos povoamentos.

O método pode ser aplicado em variados graus de severidade e, por isso, podem ser desbastadas além de árvores dominadas, intermediárias, codominantes e dominantes (Figura 2). Porém, Smith *et al.* (1996) apontam apenas os desbastes com remoção de árvores dominadas e intermediárias como aqueles que não comprometem a produção total em volume de madeira.

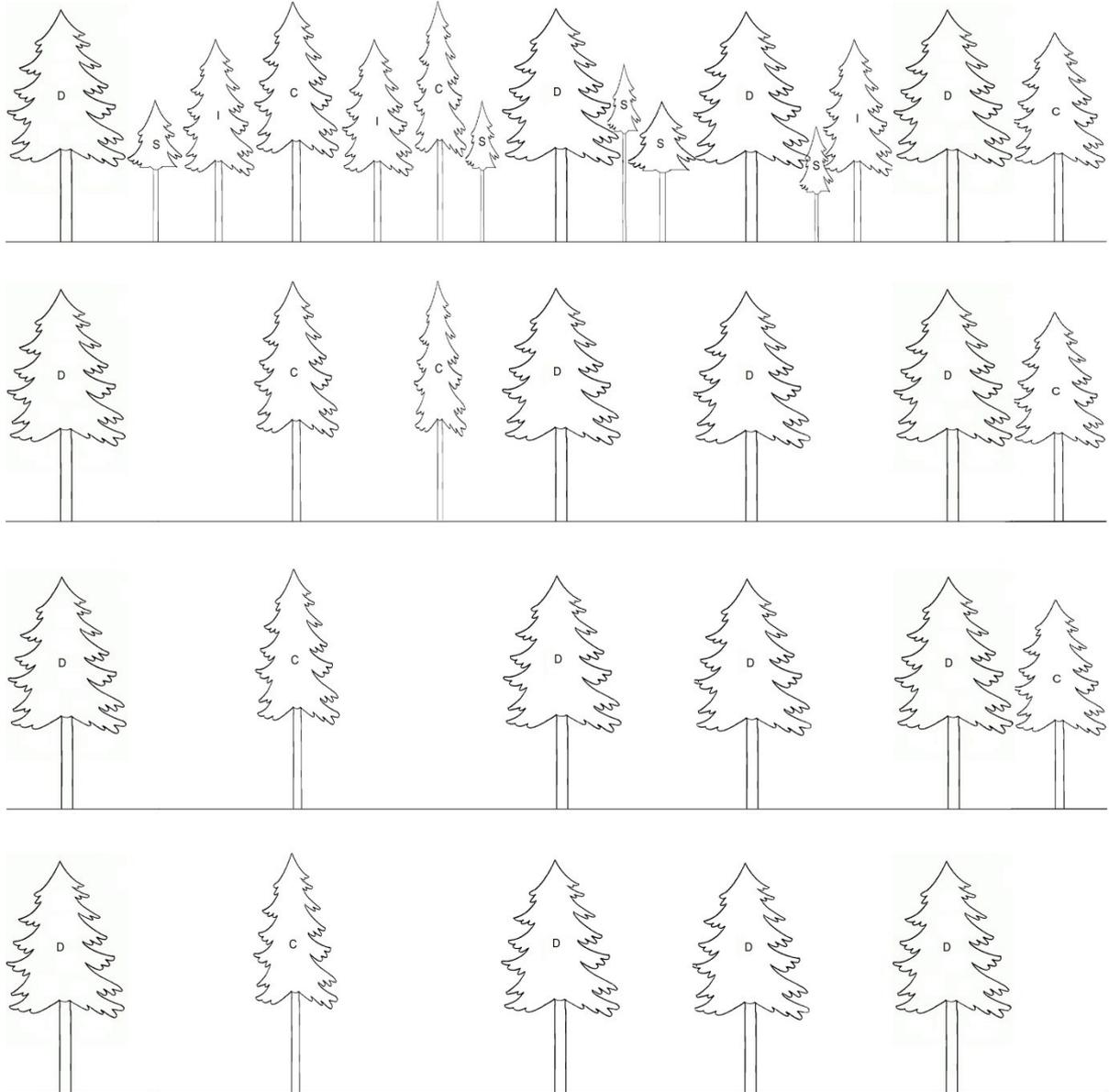


FIGURA 2 – NÍVEIS DE DESBASTE POR BAIXO COM RETIRADA DE ÁRVORES SUPRIMIDAS OU DOMINADAS – S; INTERMEDIÁRIAS – I E CODOMINANTES – C E PREDOMINÂNCIA DE DOMINANTES – D.

FONTE: Smith *et al.* (1996), modificado pelo autor (2014).

Esse método oferece mais vantagens quando se comercializa as árvores removidas ao mercado energético, como lenha e carvão. Além disso, é inerente ao

método o favorecimento de desenvolvimento do sub-bosque, devido à redução de indivíduos na classe de alturas inferiores.

Apesar de, em teoria, o desbaste por baixo ser mais apropriado para sítios inferiores que os outros métodos, a competição por fatores edáficos provavelmente é mais controlável pela quantidade de folhagem removida do que o método de desbaste em particular.

2) Desbaste por cima

Também conhecido como desbaste francês, Smith *et al.* (1996) explicam que ele foi criado para suprir as limitações encontradas no desbaste por baixo. O método consiste em remover árvores de copas da porção média à superior do dossel do povoamento, bem como árvores de classes diamétricas superiores, o que diferencia radicalmente do critério de seleção do desbaste por baixo.

A prática resulta na abertura do dossel e favorecimento do desenvolvimento das árvores promissoras, podendo ser retiradas algumas árvores intermediárias, codominantes e dominantes, remanescendo, além das restantes dessas classes, as árvores dominadas (Figura 3).

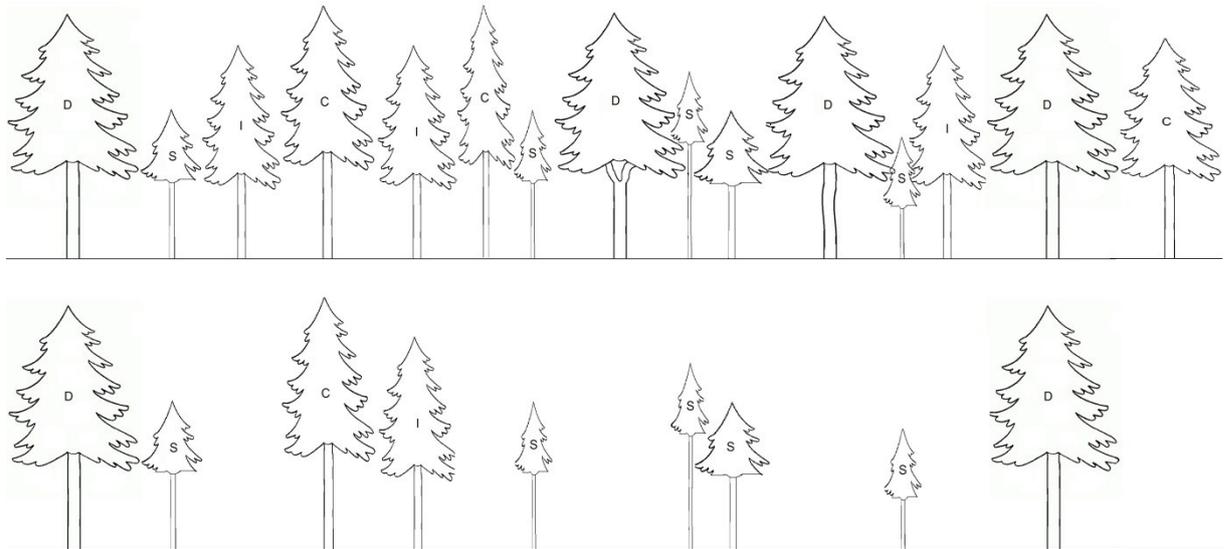


FIGURA 3 – DESBASTE POR CIMA COM RETIRADA DE ÁRVORES INTERMEDIÁRIAS – I; CODOMINANTES – C E DOMINANTES – D, COM PREDOMINÂNCIA DAS SUPRIMIDAS OU DOMINADAS – S.

FONTE: Smith *et al.* (1996), modificado pelo autor (2014).

Em termos de retorno econômico, o desbaste por cima prevalece ao por baixo, pois naquele as árvores retiradas naturalmente possuem maiores dimensões e, conseqüentemente, maior valor agregado.

3) Desbaste seletivo

Smith *et al.* (1996) explicam que no desbaste seletivo árvores dominantes são removidas para estimular o crescimento daquelas pertencentes às classes do dossel inferior. Assim, as árvores vigorosas que são favorecidas nos desbastes por cima e por baixo são muitas daquelas cortadas no desbaste seletivo.

Portanto, esse método é adequado apenas para fins bastante limitados e se a aplicação não for cuidadosa, existe um risco de a prática resultar no corte das melhores árvores, deixando as piores, o que compromete o desenvolvimento do povoamento após o desbaste (Figura 4).

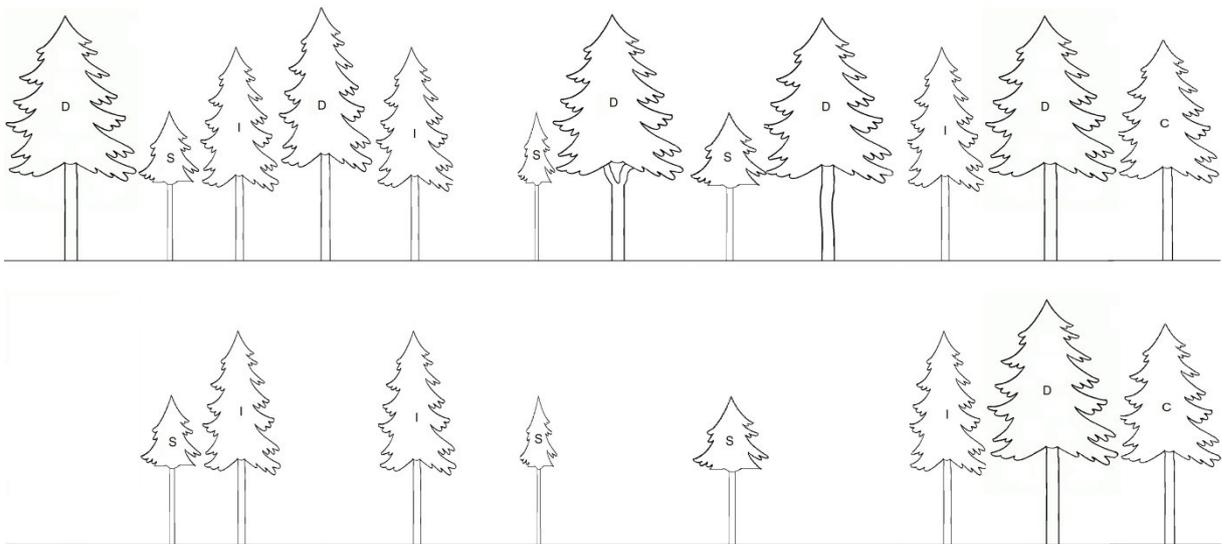


FIGURA 4 – DESBASTE SELETIVO COM RETIRADA DE ÁRVORES DOMINANTES – D, COM PREDOMINÂNCIA DAS INTERMEDIÁRIAS – I; CODOMINANTES – C E SUPRIMIDAS OU DOMINADAS – S.

FONTE: Smith *et al.* (1996), modificado pelo autor (2014).

4) Desbaste geométrico ou mecânico

Neste método de desbaste o termo mecânico é designado ao modo mecanístico de escolha das árvores a serem cortadas, que tem como base

espaçamentos pré-determinados ou padrões geométricos, com pouca ou nenhuma consideração no que se refere à posição de copa das árvores.

O desbaste mecânico é vantajoso quando o número de árvores dominantes presentes excede consideravelmente à quantidade desejada ou em povoamentos florestais jovens, cuja densidade de árvores é alta e existe pouca ou nenhuma diferenciação de posição de copa entre elas.

A sua aplicação permite o uso de máquinas de corte de grande porte com retirada de linhas ou faixas de plantio. Porém, o corte de árvores de pequeno porte eleva o custo por unidade de produto removido, o que torna essa alternativa muitas vezes inviável em povoamentos compostos por tais árvores.

Normalmente, o método mecânico é o primeiro desbaste a ser realizado em um povoamento, no qual dois critérios são seguidos para efetuar o desbaste, sendo um correspondente ao espaçamento de plantio, em que são cortadas árvores a cada intervalo de espaço entre árvores e o outro à linha de plantio, estabelecendo aquelas a serem removidas em certo intervalo, por exemplo, a cada cinco linhas, remove-se uma (Figura 5).

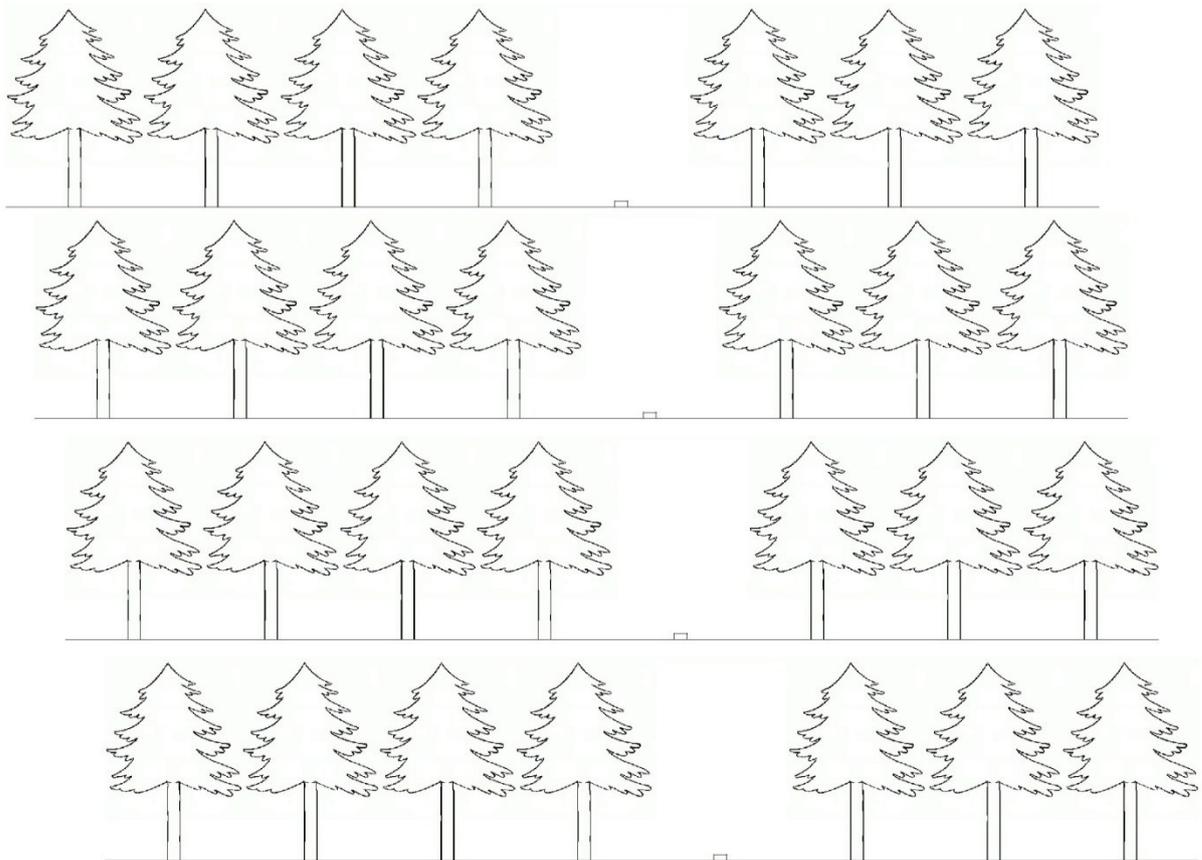


FIGURA 5 – DESBASTE MECÂNICO COM SISTEMATIZAÇÃO DE RETIRADA DA QUINTA LINHA DE PLANTIO.

FONTE: Smith *et al.* (1996), modificado pelo autor (2014).

5) Desbaste livre

A combinação entre os outros quatro métodos corresponde ao método de desbaste livre, o qual tem como característica a desconsideração da posição da copa das árvores no dossel. A redução de vários métodos aplicados simultaneamente em um é justificada em povoamentos com alguma irregularidade em idade, densidade ou composição, sendo desnecessário em povoamentos completamente regulares e uniformes.

A terminologia desbaste livre é considerada vaga, por isso normalmente é substituída pelos termos dos desbastes combinados, como desbaste por baixo e mecânico ou desbaste por alto modificado. Em Smith *et al.* (1996) podem ser vistas algumas combinações típicas para desbastes livres mediante a diferentes objetivos em povoamentos equiâneos.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A área em que foram coletados os dados engloba cinco mesorregiões dos estados do Paraná e de Santa Catarina, abrangendo o Centro-sul paranaense, a região metropolitana de Curitiba e o Sudeste paranaense, além do Norte e o vale do Itajaí catarinense (Figura 6).

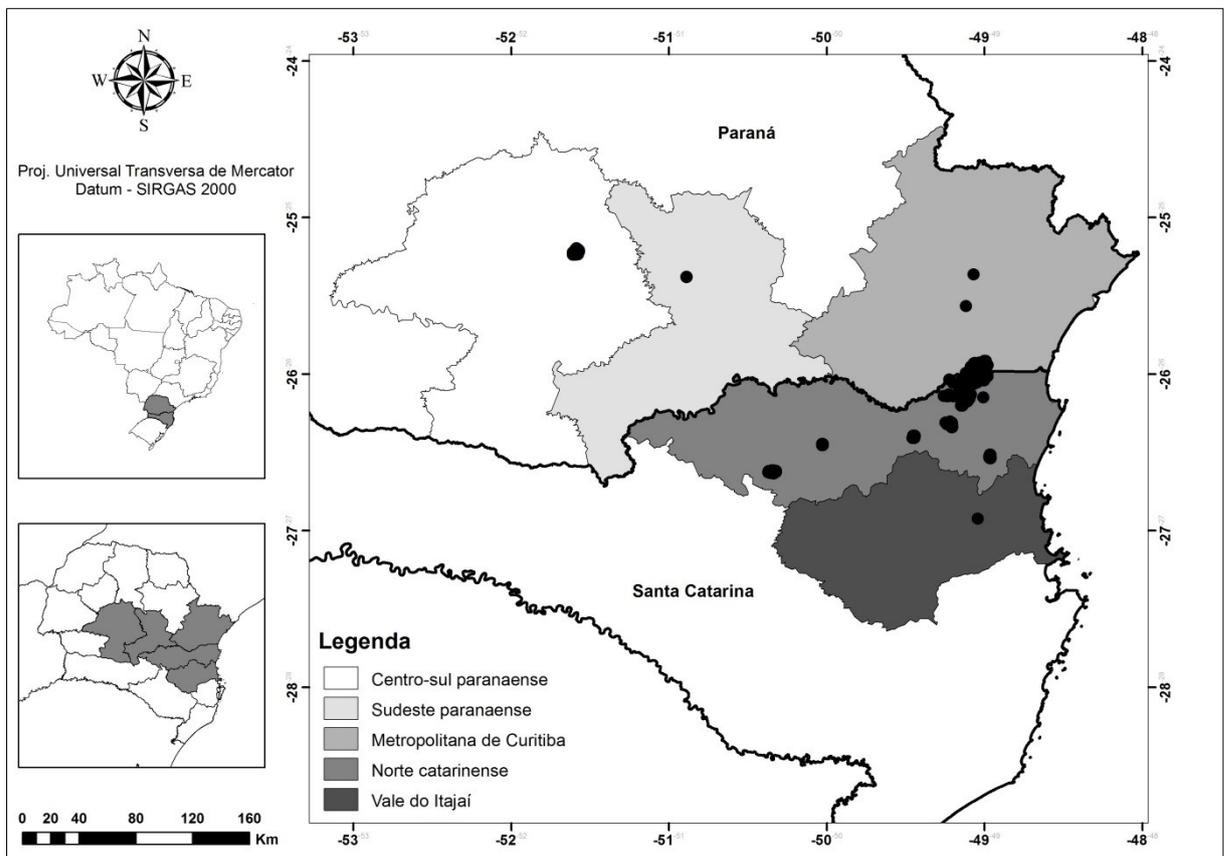


FIGURA 6 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS UTILIZADAS COMO FONTE DE DADOS DA PESQUISA.

FONTE: O autor (2014).

A região está contida entre as coordenadas geográficas $48^{\circ} 55'$ e $51^{\circ} 38'$ W e $25^{\circ} 10'$ e $26^{\circ} 56'$ S, em que foram feitas coletas em parcelas abrangendo vinte e um municípios, sendo nove deles no estado do Paraná e doze em Santa Catarina.

Os municípios paranaenses são Agudos do Sul, Campina Grande do Sul, Guarapuava, Guaratuba, Irati, Prudentópolis, Quatro Barras, São José dos Pinhais e Tijucas do Sul. Em Santa Catarina os municípios envolvidos são Blumenau, Campo Alegre, Corupá, Garuva, Gaspar, Guaramirim, Itaiópolis, Joinville, Major Vieira, Monte Castelo, Rio Negrinho e São Bento do Sul.

3.2 ORIGEM DOS DADOS

Os dados foram obtidos em parte do banco de dados da Empresa Brasil Florestal Engenharia de Projetos, provenientes de inventários florestais realizados em sete empresas do setor madeireiro e produtoras de florestas plantadas para abastecimento próprio ou venda para terceiros. Contudo, este estudo foi realizado utilizando apenas dados de florestas de *Pinus taeda*.

A maior parte dos inventários florestais foi efetuada nos últimos cinco anos, empregando o processo de amostragem sistemático com alocação de uma parcela circular por hectare, as quais possuíam tamanhos de 201 m², 400 m² ou 600 m².

O banco de dados é composto por coletas realizadas em florestas em pleno crescimento e em florestas já colhidas. Considerando o total, as medições foram feitas em povoamentos com idades variando entre 2 e 35 anos, os quais foram conduzidos com finalidade de obter, majoritariamente, toras para laminação, serraria em geral, móveis de madeira sólida, construção civil e painéis.

Assim, existe uma diversidade entre os povoamentos no que se refere aos tratamentos silviculturais, devido aos diferentes destinos para os quais as florestas foram plantadas. No quesito espaçamento de plantio são observados povoamentos com densidades iniciais de 1.600, 2.000 e 2.500 plantas por hectare, correspondentes a plantios de 2,5 x 2,5 m, 2,0 x 2,5 m e 2,0 x 2,0 m.

Em alguns deles foram realizados um ou mais desbastes, podendo ser do tipo misto, com retirada da quinta linha mais a seleção por baixo, ou do tipo seletivo por baixo, no qual foi estabelecida uma porcentagem de árvores remanescentes. As idades de aplicação dos desbastes variam entre 8 e 9 anos para aqueles de primeira ordem, 12 e 15 anos aos de segunda ordem e 15 e 16 aos de terceira ordem.

3.3 CLIMA E VEGETAÇÃO

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é classificado como Cfa, correspondente ao clima sub-tropical, sem estação seca e temperatura do mês mais quente superior a 22°C e Cfb, correspondente às mesmas condições, porém com temperatura do mês mais quente inferior a 22 °C.

Conforme dados históricos do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), a média das temperaturas mínimas e máximas no ano são 12,8 °C e 26,2 °C e a precipitação anual média varia entre 1.400 e 2.100 mm, com média de 1.813 mm, para a parte do estado do Paraná. Em relação à parte catarinense, essas temperaturas alcançam os 11,2 °C e 23,9 °C, ao passo que a precipitação anual oscila entre 1.600 e 2.100 mm, cuja média é de 1.756 mm.

Ambas as partes estão englobadas no bioma Mata Atlântica, em que se encontram fitofisionomias do tipo Floresta Ombrófila Densa e Mista, conforme base cartográfica elaborada pela Coordenação de Cartografia e mapa temático elaborado pela Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, da diretoria de Geociências do IBGE (2004).

3.4 GEOLOGIA E PEDOLOGIA

Os domínios morfoestruturais são formados por Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas, Cinturões Móveis Neoproterozóicos e Crátoms Neoproterozóicos, cujos domínios morfoclimáticos são de Planaltos Subtropicais com Araucárias, conforme Aziz Ab'Sáber (1965) citado em IBGE (2009).

Os relevos predominantes encontrados para a região são de compartimentos em Patamares, Planaltos e Serras, apresentado no mapa de unidades de relevo do IBGE (2009).

As formações pedológicas são constituídas predominantemente por oito tipos de solo, conforme mapeamento de solos brasileiros, no ano de 2011, realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária (EMBRAPA). Em geral, os

solos encontrados são Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos (Tabela 1).

TABELA 1 – TIPOS DE SOLO ENCONTRADOS NA ÁREA DE ESTUDO, EM PARTE DO ESTADO DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

ESTADO	MESORREGIÃO	TIPO DE SOLO
Paraná	Centro-sul	Latossolos Brunos Distróficos
	Metropolitana	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos
		Neossolos Litólicos Eutróficos
	Sudeste	Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos
		Cambissolos Háplicos Tb Distróficos
Gleissolos Háplicos Tb Distróficos		
Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos		
Santa Catarina	Norte	Neossolos Litólicos Distróficos
		Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos
		Cambissolos Háplicos Tb Distróficos
		Cambissolos Húmicos Distróficos
	Vale do Itajaí	Neossolos Litólicos Distróficos
		Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos

FONTE: EMBRAPA (2011), adaptado pelo autor (2014).

Conforme Tabela 1, é observada a maior frequência de argissolos vermelho-amarelos distróficos, presente em quatro das cinco mesorregiões da área de estudo. Além disso, essa é caracterizada pela alta presença de solos distróficos, ou seja, cuja porcentagem de saturação por bases é inferior a 50%, correspondendo a solos ácidos com grau de fertilidade de baixa a média (SOUZA, 1995).

REFERÊNCIAS

- ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012/ ABRAF. – Brasília, 2013, 148p.
- ANTONANGELO, A., BACHA, C. J. C. As fases da silvicultura no Brasil. **RBE**, v. 52, n. 1, p. 207-238, 1998.
- ASSMANN, E. **Waldetragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgesellschaft, 1961. 435p.
- ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 257–268, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/397>>. Acesso em: 29/9/2013.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sitio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 517–533, 2004.
- CLUTTER, J. L., FORTSON, J. C., PIENAAR, L. V., BRISTER, G. H., BAILEY, R. L. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333 p.
- CAMPOS, J. C. C., LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: Perguntas e respostas. 4ª edição, Viçosa, Editora UFV, 2013, 605p.
- CRUZ, J. P.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; CAMPOS, J. C. C.; SMIT, L.; NOGUEIRA, G. S. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 679-685, 2008.
- DANIEL, T. W.; HELMS, J. A.; BAKER, F. S. **Principles of silviculture**. 2ª edição, McGraw-Hill Co., New York, 1979, 500 p.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; RODRIGUES, F. L. Avaliação de métodos de ajuste de curvas de índice de local em povoamentos de eucaliptos desbastados. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 741-747, 2005.

DIÉGUEZ-ARANDA, U.; GABRIEL, J.; GONZÁLEZ, Á. L.; ANTA, M. B. A. Site quality equations for *Pinus sylvestris* L. plantations in Galicia (northwestern Spain). **Annals of Forest Science**, v. 62, n. 2, p. 143–152, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1051/forest:2005006>>. Acesso em: 10/10/2013.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW JR., J. A. **Forest mensuration**. 4ª edição, Hoboken, New Jersey, J. Wiley & Sons, 1923, 447 p.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil**. 3ª ed., Brasília, Diretoria de Geociências, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. 2ª edição, Rio de Janeiro, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2009, 182p.

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

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**, v. 30, n. 4, p. 603–612, 2006.

MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* L. na região central do estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 11, n. 2, p. 4-18, 1980. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/floresta/article/view/6270>>. Acesso em: 20/9/2013.

MARTINS, E. F. P.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; JANKOVSKI, T.; BRITO, C. C. R. Curvas de índice de sítio para leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit] no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, p. 365-376, 2007. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1968>>. Acesso em: 24/9/2013.

OLIVEIRA, E. B. **Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de *Pinus taeda* L., com criterios quantitativos para a avaliação tecnica e economica de regimes de manejo**. Curitiba, 134 p. Tese (Doutorado em

Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080//dspace/handle/1884/25384>>. Acesso em: 20/9/2013.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, v. 50, p. 9-26, 2003.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª edição, Santa Maria, FACOS-UFSM, 2008, 566p.

SCOLFORO, J. R. S. Curvas de índice de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, n. 45, p. 40–47, 1992.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii* nos estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, v. 18, n. 12, p. 140-158, 1988a. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/6392>>. Acesso em: 21/9/2013.

SMITH, D. M.; LARSON, B. C.; KELTY, M. J.; ASHTON, P. M. S. **The practice of silviculture**: applied forest ecology. 9ª edição, John Wiley and Sons, New York, 1996, 537p.

SOUZA, J. S. I. **Enciclopédia agrícola brasileira: S-Z**. Editora USP, São Paulo, 1995.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 1, p. 27-43, 2006. Disponível em: <<http://cascavel.cpd.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1885>>. Acesso em: 21/9/2013.

CAPÍTULO I

CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO PARA *Pinus taeda* L., EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA

RESUMO

A capacidade produtiva local ou sítio florestal é dito como um fator importante para o crescimento e a produção de povoamentos florestais. Considerando que seu emprego é limitado a uma espécie em questão, as classificações de sítios florestais encontradas na literatura para *Pinus taeda* L. nos estados do Paraná e Santa Catarina são defasadas em função do tempo. O objetivo do estudo foi classificar sítios florestais para essa espécie nos dois estados, com base em 6.267 dados de altura dominante de parcelas permanentes e temporárias com idades entre 2 e 35 anos. Foram testados seis modelos para retratar o crescimento em altura dominante em função do tempo, sendo eles: Schumacher modificado; Chapman-Richards; Clutter-Jones; Prodan; Bailey de 4 parâmetros e Mitscherlich. A seleção do melhor modelo obedeceu aos critérios de menor erro padrão da estimativa, em porcentagem ($s_{yx}\%$), maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e melhor dispersão gráfica dos resíduos, em porcentagem ($R\%$). Foi produzida uma tabela de sítios florestais, os quais foram construídos pelo método da curva-guia, adotando 15 anos como idade de referência. A confiabilidade dos sítios foi testada mediante o anamorfismo nas idades de 5, 10, 15 e 35 anos, além disso, foi verificada graficamente a tendência média das alturas dominantes das parcelas, bem como de outras quatro parcelas isoladas, em permanecerem nas mesmas classes de sítio. Foi concluído que o modelo de Prodan é o mais adequado para representar a curva média de alturas dominantes em função da idade, apresentando valor de $s_{yx}\%$ e $R^2_{aj.}$ iguais a 13,76% e 0,7856, respectivamente. O emprego de quatro classes de sítio com intervalo de 5 m entre elas foi satisfatório para abranger a nuvem de pontos altura dominante *versus* idade. As análises de confiabilidade das curvas revelou que as mesmas são adequadas para serem empregadas em povoamentos de *P. taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. As curvas de sítio geradas foram próximas daquelas observadas em trabalhos realizados na década de 1980 e, por isso, deduz-se que o crescimento em altura dominante de *P. taeda* não foi significativamente alterado dessa época para hoje. Recomenda-se o uso da tabela de sítio apresentada e não se recomenda o seu uso ao tratar de idades inferiores a 5 anos.

Palavras-chave: Crescimento e produção. Povoamentos florestais. Capacidade produtiva. Altura dominante. Método da curva-guia.

CHAPTER I

SITE CLASSIFICATION TO *Pinus taeda* L., IN PART OF PARANA AND SANTA CATARINA STATES

ABSTRACT

The local productive capacity or forest site is considered an important factor to the forest stands growth and yield. Taking into account that its using is limited to a species in question, the site forest classifications found in literature for *Pinus taeda* L. in Parana and Santa Catarina states are lagged with respect to time. The aim of this study was to classify forest sites for this species in both states based on 6,267 data of dominant height of permanent and temporary plots aged 2 to 35 years. It was tested six biological models to predict dominant height growth by age observed, being: Schumacher modified; Chapman-Richards; Clutter-Jones; Prodan; Bailey 4 parameters and Mitscherlich. The criteria to select the best model corresponded to smaller standard error of estimate, in percentage ($s_{yx}\%$), highest adjusted determination coefficient ($R^2_{ad.}$) and the best graphical residual dispersion, in percentage ($R\%$). It was made a forest site table built by guide curve method employing 15 years as index age. The reliability of sites was tested through anamorphic analysis considering the ages of 5, 10, 15 and 35 years, furthermore it was verified graphically the average bias of the plots as well as other isolated plots to remain in the same site class. It was concluded that the Prodan model is the best to estimate dominant height by age, in which $s_{yx}\%$ and $R^2_{ad.}$ values were equal to 13.76% and 0.7856, respectively. The using of four site classes with 5 m intervals between them was satisfactory to cover the dominant height *versus* age data points. The analyzes to evaluate reliability of the curves revealed that they can be surely used in *P. taeda* stands in Parana and Santa Catarina states. The obtained site curves are close to observed in previous studies, therefore it is deduced that the dominant height growth of *P. taeda* did not change significantly since decades ago to nowadays. Thus it is recommended to use of the presented site table and it is not recommended use it to ages less than five years.

Keywords: Growth and yield. Forest stands. Productive capacity. Dominant height. Guide curve method.

1 INTRODUÇÃO

A produção de povoamentos florestais equiâneos é uma atividade que, não diferente de outros processos produtivos, passa por avanços que conferem a ela, sobretudo, aumento da produtividade. Ao longo dos anos da produção de florestas plantadas no Brasil, duas características, uma biótica e outra abiótica, demonstram ser importante a quem as produz, sendo elas o melhoramento genético de espécies e a qualidade do sítio.

Apesar de ambas serem condicionantes distintas, qualidade ou capacidade do sítio tem por definição o potencial de um local em produzir madeira para uma espécie em particular, portanto sítio florestal é um conceito apropriado a um material genético em questão, em que sua qualidade pode ser quantificada direta ou indiretamente (CLUTTER *et al.*, 1983).

Considerando a primeira alternativa, os meios da estimativa recorrem ao conhecimento histórico de produção, em dados de volume e, finalmente, em dados de altura das árvores dos povoamentos. Dentre essas três opções, o emprego de alturas de árvores dominantes é amplamente usual, por ela não ser afetada pelo espaçamento e se correlacionar verdadeiramente com o potencial produtivo do sítio (BILA *et al.* 2012; MARTINS *et al.*, 2007; DIÉGUEZ-ARANDA *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.* 1998; SELLE *et al.* 1994; SCOLFORO, 1992; CLUTTER *et al.*, 1983).

Na prática, um investimento florestal em sítio bom pode ser financeira e tecnicamente justificado, ao passo que, em sítio ruim, a mesma aplicação poderia ser considerada imprópria e, por isso, a maioria das tomadas de decisão envolve um estudo prévio e minucioso da capacidade produtiva (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008; CLUTTER *et al.*, 1983).

Com a floresta estabelecida, a classificação de sítios oferece vantagens para o manejador florestal, como, por exemplo, estratificar o povoamento em unidades equiprodutivas, o que facilita a determinação de regimes de manejo de acordo com o potencial produtivo local, servindo também para construção de tabelas de crescimento e produção (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

As fontes de dados para classificação de sítios podem ser provenientes de parcelas permanentes e temporárias, bem como análise completa de tronco. Apesar de serem mais dispendiosas, as parcelas permanentes fornecem parâmetros mais

confiáveis, visto que, por meio de remedições, elas refletem fielmente o crescimento das árvores. A existência de parcelas desde idades jovens até as mais avançadas viabiliza maior confiabilidade às classes de sítio confeccionadas (CLUTTER *et al.*, 1983).

Sítios florestais no Sul do Brasil, especialmente para a espécie *Pinus taeda* L. foram estudados a partir de 1980 (OLIVEIRA 1995; SCOLFORO; MACHADO, 1988b; MACHADO, 1980), pois nessa década o governo estabeleceu incentivos fiscais para estimular o reflorestamento no país, em que espécies do gênero *Pinus* foram vastamente implantadas na região, devido a condicionante climática.

Porém, a defasagem de tempo dessas pesquisas pode causar receio de uso pelos atuais interessados, uma vez que não se sabe com certeza como o avanço produtivo, principalmente com a melhoria de materiais genéticos, relaciona com a capacidade produtiva de sítio para *Pinus taeda*.

É prudente levantar a hipótese de que há uma tendência dos povoamentos serem cada vez mais produtivos, ao menos em volume de biomassa, mas a altura dominante talvez seja intrínseca ao potencial do sítio, que está ligado, sobretudo, às condições edafoclimáticas (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008; CLUTTER *et al.*, 1983).

Diante do exposto, a presente pesquisa tem como propósito gerar classes de sítio para *Pinus taeda* por meio de dados de parcelas permanentes e temporárias em parte dos estados do Paraná e Santa Catarina.

1.1 OBJETIVO GERAL

Classificar a capacidade produtiva de sítios florestais com base em índice de local para a espécie *Pinus taeda* L., em parte dos estados do Paraná e Santa Catarina.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ajustar modelos para a classificação de sítios florestais, empregando médias de alturas dominantes, em metros, e idade, em anos, como variáveis dependentes e independentes, respectivamente.
- Avaliar o método da curva-guia para a construção de curvas de índice de sítio, com dados de parcelas permanentes e temporárias de povoamentos de *Pinus taeda*, empregando a idade-índice de 15 anos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para efetuar o presente estudo foram utilizados 6.267 pares de dados altura dominante (h_{dom}) e idade, oriundos de parcelas em povoamentos de *Pinus taeda*, das quais 4.955 são de caráter temporário e 1.312 permanente, distribuídas em parte dos estados do Paraná e Santa Catarina, conforme apresentado na caracterização da área de estudo (pág. 37).

A classificação da capacidade produtiva obedeceu ao conceito de índice de sítio, em que foi utilizado o método da curva-guia, que consiste em traçar curvas anamórficas equivalentes em inclinação para delimitar as classes de sítio (DIÉGUEZ-ARANDA *et al.*, 2005; SCOLFORO, 1997).

Foi empregado o princípio de Assmann (1961) para determinação das árvores dominantes, em que a média das alturas totais das cem árvores com os maiores diâmetros a 1,3 m do solo (dap), por hectare, livres de defeitos ou insanidades, representa a altura dominante.

Conforme os dados, essas alturas variaram entre 2,2 e 36,8 m e as idades entre 2 e 35 anos, com maioria entre 5 e 18 anos e minoria com idade superior a 19 anos, devido à escassez de povoamentos manejados até idades mais avançadas. Algumas estatísticas descritivas das parcelas podem ser observadas na Tabela 2.

TABELA 2 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA VARIÁVEIS COLETADAS EM PARCELAS DE *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

VARIÁVEL	UNIDADE	MÍNIMA	MÉDIA	MEDIANA	MÁXIMA	CV (%)
Altura dominante	m	2,2	15,8	15,8	36,8	29,7
Idade	anos	2,0	10,7	10,0	35,0	40,9

CV(%): coeficiente de variação, em porcentagem.

A coleta de dados foi feita em parcelas de formato circular, com áreas de 201 m², 400 m² e 600 m², sendo que a maioria delas foi alocada pelo processo de amostragem sistemático com grid quadrado de 100 m de distância entre pontos.

Foram ajustados seis modelos não-lineares (Tabela 3) para a obtenção da curva média. Foi empregada altura dominante, em metros, e idade, em anos, como variável dependente e independente, respectivamente, conforme apresentado por

Schneider e Schneider (2008) e Clutter *et al.* (1983) e aplicado por Scolforo (1992). A Tabela 3 também apresenta os modelos-guias resolvidos pela equivalência que satisfaz $h_{dom} = S \Leftrightarrow I = I_i$, ou seja, a altura dominante é igual ao índice de sítio quando a idade é igual à idade índice.

TABELA 3 – MODELOS NÃO-LINEARES AJUSTADOS PARA CLASSIFICAR SÍTIOS FLORESTAIS DE *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

AUTOR	MODELO	MODELO-GUIA	Nº
Schumacher modificado	$h_{dom} = K_0 \cdot e^{(\beta_1/I)^{\beta_2}} + \varepsilon$	Resolvido por K_0 : $h_{dom} = S \cdot e^{\beta_1 \left[\left(\frac{1}{I}\right)^{\beta_2} - \left(\frac{1}{I_i}\right)^{\beta_2} \right]} + \varepsilon$	(1)
Chapman-Richards	$h_{dom} = \theta_1 \cdot (1 - e^{-K \cdot I})^{(1-\theta_2)^{-1}} + \varepsilon$	Resolvido por θ_1 : $h_{dom} = S \cdot \left[\frac{1 - e^{-(K \cdot I)}}{1 - e^{-(K \cdot I_i)}} \right]^{(1-\theta_2)^{-1}} + \varepsilon$	(2)
Clutter-Jones	$h_{dom} = K_0 \cdot (1 + \beta_1 \cdot I^{\beta_2})^{\beta_3} + \varepsilon$	Resolvido por K_0 : $h_{dom} = S \cdot \left(\frac{1 + \beta_1 \cdot I^{\beta_2}}{1 + \beta_1 \cdot I_i^{\beta_2}} \right)^{\beta_3} + \varepsilon$	(3)
Prodan	$h_{dom} = \frac{I^2}{\beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot I^2} + \varepsilon$	Resolvido por β_0 : $h_{dom} = \frac{I^2}{\frac{I_i^2}{S} + \beta_1 \cdot (I - I_i) + \beta_2 \cdot (I^2 - I_i^2)} + \varepsilon$	(4)
Bailey de 4 parâmetros	$h_{dom} = \theta_1 \cdot (1 - e^{-\theta_2 \cdot I^{\theta_3}})^{\theta_4} + \varepsilon$	Resolvido por θ_1 : $h_{dom} = S \cdot \left(\frac{1 - e^{-\theta_2 \cdot I^{\theta_3}}}{1 - e^{-\theta_2 \cdot I_i^{\theta_3}}} \right)^{\theta_4} + \varepsilon$	(5)
Mitscherlich	$h_{dom} = \theta_1 \cdot (1 - \theta_2 \cdot e^{-\theta_3 \cdot I}) + \varepsilon$	Resolvido por θ_1 : $h_{dom} = S \cdot \left(\frac{1 - \theta_2 \cdot e^{-\theta_3 \cdot I}}{1 - \theta_2 \cdot e^{-\theta_3 \cdot I_i}} \right) + \varepsilon$	(6)

h_{dom} : altura dominante da parcela, em m; I : idade, em anos; S : índice de sítio, em m; I_i : idade índice, 15 anos; K_0 , θ_1 e β_1 : parâmetros do modelo; e : exponencial; ε : erro aleatório.

FONTE: Schneider e Schneider (2008) e Clutter *et al.* (1983), modificado pelo autor (2014).

O modelo de Schumacher foi modificado da sua fórmula original com o acréscimo de um terceiro parâmetro (β_2) que o torna mais flexível, conforme descrito por Campos e Leite (2013). Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo método de Marquardt com o auxílio do *software* Statgraphics® Centurion XVI (versão 16.1.02).

Foram testadas três estatísticas como critério de seleção do melhor modelo, em que foi obedecido o menor erro padrão da estimativa, em porcentagem ($s_{yx}\%$), maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e a melhor dispersão gráfica dos

resíduos, em porcentagem (R%), cujas fórmulas podem ser descritas conforme (7), (9) e (10):

$$s_{yx} \% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \cdot \frac{100}{\bar{y}} \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2} \right) \quad (8)$$

$$R^2_{aj.} = 1 - \left[(1 - R^2) \cdot \left(\frac{n - 1}{n - p} \right) \right] \quad (9)$$

$$R\% = \frac{Y_i - \hat{y}_i}{Y_i} \cdot 100 \quad (10)$$

Em que: Y_i e \hat{y}_i = variável i dependente observada e estimada, respectivamente; \bar{y} = média das variáveis dependentes observadas; n e p = número de observações e parâmetros do modelo, respectivamente.

Após a obtenção da equação que melhor representa a dispersão dos dados foi confeccionada a quantidade de classes que abrangesse a nuvem de pontos, estabelecendo 5 m de intervalo entre classes na idade-índice, a qual foi escolhida arbitrariamente como 15 anos, correspondendo ao tempo médio para rotação de plantios de *Pinus spp.* no sul do Brasil (TONINI *et al.*, 2006).

A confiabilidade do anamorfismo das curvas de sítio foi identificada como proposto por Scolforo (1997), em que se verifica graficamente a tendência linear dos índices de sítio em função das alturas dominantes médias. Essa identificação tem como propósito confirmar que o índice de sítio é dependente da capacidade produtiva, e não da idade.

O procedimento foi repetido para as idades de 5, 10, 15 e 35 anos, ou seja, foram confeccionados gráficos empregando índice de sítio em função da altura dominante para essas quatro idades e, assim, avaliada a sua correlação linear. O índice de sítio é estimado por meio do modelo guia definido a partir do modelo que melhor representou os dados, avaliado pelos critérios estatísticos estabelecidos.

Também foi verificado em gráficos o comportamento de médias de alturas dominantes e sua tendência em permanecer no mesmo sítio ao longo dos anos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ajustes dos modelos pelo método de Marquardt geraram coeficientes significantes ao nível de 95% de probabilidade. Os erros padrões da estimativa, em porcentagem ($s_{yx}\%$) variaram de 13,2% a 16,5% e os coeficientes de determinação ajustados foram superiores a 0,69 (Tabela 4).

TABELA 4 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DE MODELOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS DE *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

MODELO	COEFICIENTES	$s_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$	Nº
Schumacher modificado	$K_0 = 33,02893^*$ $\beta_1 = -6,92812^*$ $\beta_2 = 1,03920^*$	16,48	0,6925	(1)
Chapman-Richards	$\theta_1 = 25,57051^*$ $K = 0,12870^*$ $\theta_2 = 0,36920^*$	14,12	0,7743	(2)
Clutter-Jones	$K_0 = 40,12200^*$ $\beta_1 = 0,95810^*$ $\beta_2 = -0,68771^*$ $\beta_3 = 4,20071^*$	13,96	0,7793	(3)
Prodan	$\beta_0 = 1,58181^*$ $\beta_1 = 0,15327^*$ $\beta_2 = 0,03138^*$	13,76	0,7856	(4)
Bailey 4 parâmetros	$\theta_1 = 24,10460^*$ $\theta_2 = 1,78E-05^*$ $\theta_3 = 3,98090^*$ $\theta_4 = 0,23107^*$	13,25	0,8012	(5)
Mitscherlich	$\theta_1 = 29,17554^*$ $\theta_2 = 1,06978^*$ $\theta_3 = 0,08515^*$	13,78	0,7847	(6)

* significativa a 95% de probabilidade, pelo teste F de Fisher; K_0 , θ_i e β_i : parâmetros do modelo.

As estatísticas de precisão apontaram que o modelo de Bailey 4 parâmetros (5) foi o que resultou em melhor ajuste, avaliado pelo erro percentual, seguido pelo modelo de Prodan (4) e de Mitscherlich (6). O modelo de Schumacher (1), em sua forma modificada apresentou o maior erro para estimar a curva média da nuvem de pontos, em comparação aos demais.

Teoricamente o modelo (5) deveria ser adotado para efetuar as curvas de sítio, porém, em uma análise prévia, foi constatado que ele estimou valores de h_{dom} iguais para as idades superiores a 20 anos, provavelmente devido a baixa quantidade de parcelas nesse intervalo. Portanto, foi utilizado o modelo de Prodan (4), por ele não apresentar tal subestimativa nas idades avançadas.

Os valores das estatísticas utilizadas foram semelhantes aos encontrados por Bila *et al.* (2012), em povoamentos de *P. caribaea var. hondurensis* e Miranda (2012), ao classificar sítios para *Eucalyptus sp.* Ajustes mais eficientes para modelos

de sítio foram observados por Scolforo e Machado (1988a) e Scolforo e Machado (1988b), ao classificarem sítios para *P. elliottii* e *P. taeda* localizados no Sul do Brasil, respectivamente, em que os valores de R^2_{aj} variaram entre 0,80 e 0,99.

Em relação ao modelo de Prodan (4), os coeficientes obtidos foram semelhantes aos encontrados por ambos os autores anteriormente citados, corroborando em capacidades de produção não muito distintas, provavelmente por se tratar de espécies de mesmo gênero e em condições climáticas parecidas.

Os resíduos (R%) obtidos pela diferença das alturas dominantes observadas e estimadas pelos dois melhores modelos [(4) e (5)] foram plotados em gráficos (Figura 7), a fim de facilitar a visualização de possíveis tendências de estimativas em função das idades.

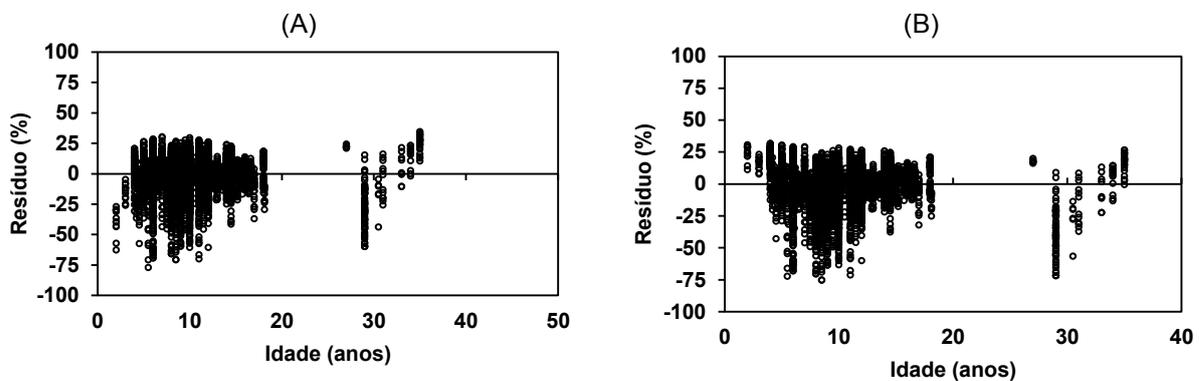


FIGURA 7 – RESÍDUOS DA ESTIMATIVA PELOS MODELOS DE BAILEY 4P. (A) E PRODAN (B), PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS EM *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

As dispersões dos resíduos, em porcentagem (R%) de ambos os modelos não diferiram visualmente, bem como não houve tendências de estimativas ao longo das idades, confirmando a possibilidade de uso do modelo de Prodan para a elaboração das classes de sítios.

A aparente tendência em superestimar e subestimar as alturas nas idades mais avançadas (maior que 27 anos) deve-se à deficiência de parcelas nesse intervalo, conseqüentemente os pares de dados altura dominante e idade não abrangem toda a amplitude das classes de sítio (Figura 8).

Em compensação, o número elevado de parcelas até a idade de 20 anos abrange toda a variação das alturas e confere a adequada dispersão dos resíduos para os modelos de Bailey 4 parâmetros (Figura 7A) e de Prodan (Figura 7B).

As curvas de sítio confeccionadas por meio do modelo de Prodan podem ser observadas na Figura 8, em que foi utilizada a idade-índice de 15 anos. Para abranger a nuvem de pontos assegurando o intervalo de 5 m entre classes na idade-índice, foi necessário o estabelecimento de quatro classes de sítios florestais.

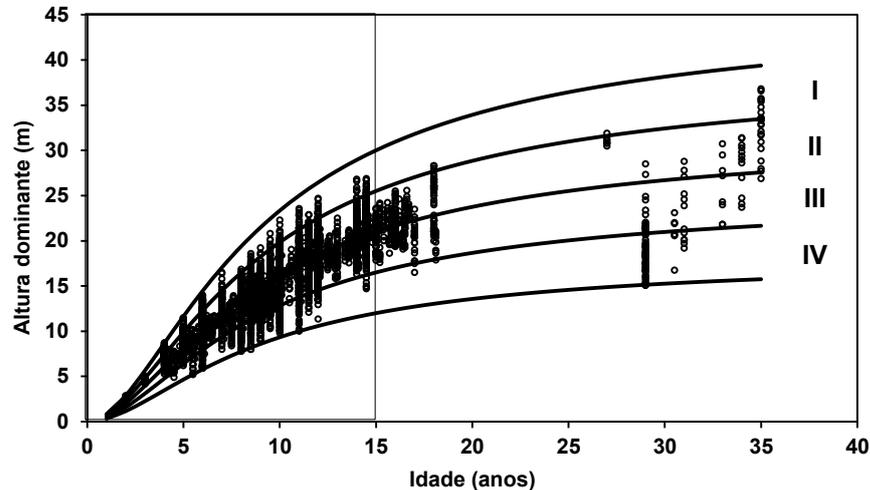


FIGURA 8 – CLASSES DE SÍTIO COM IDADE-ÍNDICE DE 15 ANOS PARA *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

A Figura 8 mostra a amplitude absoluta das alturas dominantes aumentada gradativamente com o aumento das idades e a curva média é notadamente mais inclinada nas idades mais jovens, caracterizando o crescimento biológico mais acentuado em idades mais jovens dos povoamentos.

Nessa fase, a sensibilidade das plantas ocasionada pela susceptibilidade das mudas aos fatores externos, induz a uma maior variação das alturas, inclusive de árvores dominantes e codominantes.

Em experimentos efetuados por Beck (1971), Ferree *et al.* (1958) e Wakely e Marrero (1958), citados por Clutter *et al.* (1983), foi observado que povoamentos florestais mais velhos propiciam a obtenção de parâmetros mais confiáveis para gerar os índices de sítio do que os mais jovens.

Com isso, Machado (1980) comentou sobre o risco de se empregar índices de sítios em idades inferiores a 4 anos, pois além da variação, as distâncias entre as curvas de sítio é muito pequena para essas idades, favorecendo a uma classificação de sítio equivocada.

As curvas apresentadas na Figura 8 representam graficamente as classificações confeccionadas. A tabulação dos limites de alturas dominantes para

as quatro classes está apresentada na Tabela 5 de 1 a 35 anos de idade. As curvas traçadas satisfazem aos índices de sítio iguais a 27,8 m, 23,3 m, 18,8 m e 14,3 m, correspondentes aos sítios I, II, III e IV, respectivamente.

TABELA 5 – LIMITES DE CLASSES DE SÍTIO COM IDADE-ÍNDICE DE 15 ANOS PARA *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

IDADE (ANOS)	SÍTIO IV	SÍTIO III	SÍTIO II	SÍTIO I
	14,3 m	18,8 m	23,3 m	27,8 m
1	0,3 — 0,5	0,5 — 0,6	0,6 — 0,7	0,7 — 0,8
2	1,2 — 1,6	1,6 — 2,0	2,0 — 2,5	2,5 — 2,9
3	2,3 — 3,1	3,1 — 4,0	4,0 — 4,8	4,8 — 5,6
4	3,5 — 4,8	4,8 — 6,1	6,1 — 7,4	7,4 — 8,7
5	4,7 — 6,4	6,4 — 8,1	8,1 — 9,9	9,9 — 11,6
6	5,8 — 8,0	8,0 — 10,1	10,1 — 12,3	12,3 — 14,5
7	6,8 — 9,4	9,4 — 11,9	11,9 — 14,5	14,5 — 17,1
8	7,8 — 10,7	10,7 — 13,6	13,6 — 16,5	16,5 — 19,4
9	8,6 — 11,8	11,8 — 15,0	15,0 — 18,3	18,3 — 21,5
10	9,3 — 12,8	12,8 — 16,3	16,3 — 19,8	19,8 — 23,3
11	10,0 — 13,7	13,7 — 17,5	17,5 — 21,2	21,2 — 25,0
12	10,6 — 14,6	14,6 — 18,5	18,5 — 22,5	22,5 — 26,5
13	11,1 — 15,3	15,3 — 19,4	19,4 — 23,6	23,6 — 27,8
14	11,6 — 15,9	15,9 — 20,3	20,3 — 24,6	24,6 — 28,9
15	12,0 — 16,5	16,5 — 21,0	21,0 — 25,5	25,5 — 30,0
16	12,4 — 17,0	17,0 — 21,7	21,7 — 26,3	26,3 — 30,9
17	12,7 — 17,5	17,5 — 22,3	22,3 — 27,0	27,0 — 31,8
18	13,0 — 17,9	17,9 — 22,8	22,8 — 27,7	27,7 — 32,6
19	13,3 — 18,3	18,3 — 23,3	23,3 — 28,3	28,3 — 33,3
20	13,6 — 18,7	18,7 — 23,7	23,7 — 28,8	28,8 — 33,9
21	13,8 — 19,0	19,0 — 24,2	24,2 — 29,3	29,3 — 34,5
22	14,0 — 19,3	19,3 — 24,5	24,5 — 29,8	29,8 — 35,1
23	14,2 — 19,6	19,6 — 24,9	24,9 — 30,2	30,2 — 35,6
24	14,4 — 19,8	19,8 — 25,2	25,2 — 30,6	30,6 — 36,0
25	14,6 — 20,0	20,0 — 25,5	25,5 — 31,0	31,0 — 36,4
26	14,7 — 20,3	20,3 — 25,8	25,8 — 31,3	31,3 — 36,8
27	14,9 — 20,5	20,5 — 26,0	26,0 — 31,6	31,6 — 37,2
28	15,0 — 20,6	20,6 — 26,3	26,3 — 31,9	31,9 — 37,5
29	15,1 — 20,8	20,8 — 26,5	26,5 — 32,2	32,2 — 37,8
30	15,3 — 21,0	21,0 — 26,7	26,7 — 32,4	32,4 — 38,1
31	15,4 — 21,1	21,1 — 26,9	26,9 — 32,7	32,7 — 38,4
32	15,5 — 21,3	21,3 — 27,1	27,1 — 32,9	32,9 — 38,7
33	15,6 — 21,4	21,4 — 27,2	27,2 — 33,1	33,1 — 38,9
34	15,7 — 21,5	21,5 — 27,4	27,4 — 33,3	33,3 — 39,2
35	15,7 — 21,7	21,7 — 27,6	27,6 — 33,5	33,5 — 39,4

As classes de sítios na idade de 15 anos possuem amplitude de 4,5 m e variação de 12 a 30 m, correspondendo aos limites mínimo e máximo das classes IV e I, respectivamente. Selle *et al.* (1994) classificaram sítios florestais para *P. taeda*

na região de Cambará do Sul, RS empregando a idade índice de 20 anos. Com uso de curvas do tipo anamórfica, os autores necessitaram confeccionar nove classes de sítio com intervalo de 3 m entre elas na idade de referência de 20 anos, o que corresponde a uma amplitude total de 27 m.

Em comparação, pode ser afirmado que existe uma maior variação das alturas dominantes da espécie em questão na região de Cambará do Sul, visto que na atual pesquisa foi observado um intervalo de 15,2 m entre as médias das classes nessa mesma idade.

Por outro lado, resultados mais similares foram obtidos por Machado (1980) ao produzir curvas de sítio para *P. taeda* na região central do estado do Paraná. Esse autor elaborou uma tabela com alturas limites para cinco classes de sítio até a idade de 20 anos e, por ela foi observado que, no geral, as amplitudes foram menores que 2 m para todas as idades, ao comparar com as observadas na atual pesquisa.

Resultados muito próximos aos apresentados na Tabela 5 foram publicados Scolforo e Machado (1988b) para povoamentos de *P. taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. Esses autores estabeleceram a idade de 20 anos como referência e cinco classes de sítio. Como os trabalhos têm em comum a espécie e a área de estudo, pode-se deduzir que, mesmo com a defasagem temporal de 25 anos entre as pesquisas, o crescimento em altura das árvores dominantes é praticamente o mesmo.

Também nesses dois estados Scolforo e Machado (1988a) classificaram sítios florestais para *Pinus eliottii* e, adotando uma idade índice de 25 anos e quatro classes de sítio, obtiveram resultados semelhantes aos apresentados na Tabela 5, demonstrando a homogeneidade dessas duas espécies no sul do Brasil.

Para avaliar a confiabilidade das classificações geradas, foi feito o teste de anamorfismo das curvas estimadas pelo modelo de Prodan, em que a relação entre índice de sítio e altura dominante foi verificada do seguinte modo:

$$h_{\text{dom}} = \frac{l^2}{a_0 + a_1 \cdot l + a_2 \cdot l^2} \quad (9) \quad \Leftrightarrow \quad a_0 = \frac{l^2}{H_i} - a_1 \cdot l - a_2 \cdot l^2 \quad (10)$$

considerando que a idade de referência retorna ao índice de sítio ...

$$S = \frac{lr^2}{a_0 + a_1 \cdot lr + a_2 \cdot lr^2} \quad (11) \quad \dots \text{ substituindo (10) em (11) tem-se:}$$

$$S = \frac{lr^2}{\frac{l^2}{h_{\text{dom}}} - a_1 \cdot l - a_2 \cdot l^2 + a_1 \cdot lr + a_2 \cdot lr^2} \quad (12) \quad \Leftrightarrow \quad S = \frac{lr^2}{\frac{l^2}{h_{\text{dom}}} + a_1 \cdot (lr - l) + a_2 \cdot (lr^2 - l^2)} \quad (13)$$

Em que: h_{dom} : Altura dominante média; l : Idade, em anos; li : Idade índice, 15 anos; S : Índice de sítio; a_i : Parâmetros do modelo.

O ajuste da expressão (13) empregando os 6.267 pares de altura dominante (h_{dom}) e idade resultou na equação $S = \frac{15^2}{\frac{l^2}{h_{\text{dom}}} + 0,24502 \cdot (15 - l) + 0,02201 \cdot (15^2 - l^2)}$, a qual foi aplicada isoladamente para as idades 5, 10, 15 e 35 anos. A relação de sítio em função da altura dominante pode ser observada na Figura 9, em que mostra as equações lineares e os seus coeficientes de determinação (R^2) obtidos no ajuste.

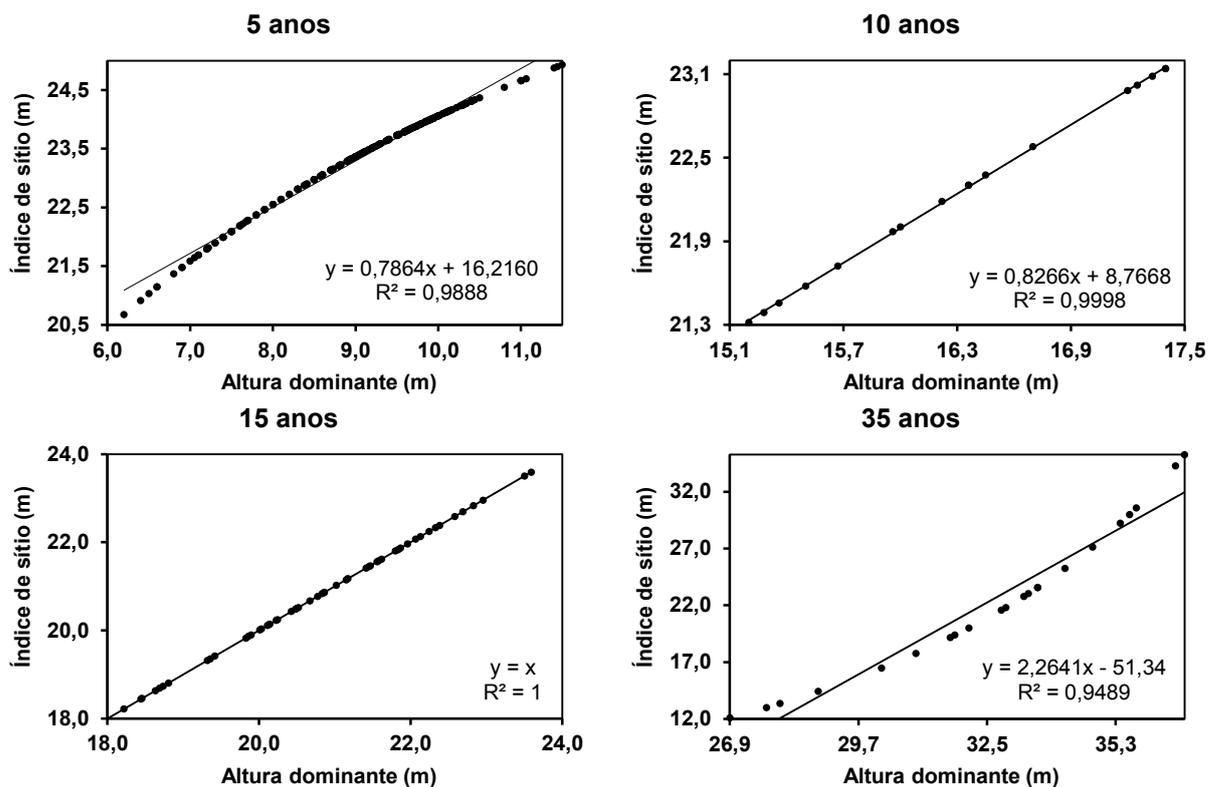


FIGURA 9 – TESTE DE ANAMORFISMO DE CURVAS DE SÍTIO, EM QUATRO IDADES DE *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

O comportamento do parâmetro de inclinação da reta, em que foi aumentado da idade de 5 anos para a de 35 anos era esperado, devido à redução da amplitude

absoluta das alturas dominantes com o avanço da idade. A interseção da reta diminui com o aumento da idade, sendo esse parâmetro o compensador da relação das variáveis altura dominante (x) e índice de sítio (y).

O coeficiente de determinação (R^2) igual a 1 na idade-índice, bem como os coeficientes de inclinação e interseção serem iguais a 1 e 0, respectivamente, refletem a qualidade do ajuste do modelo de Prodan, mostrando que o índice de sítio é dependente da altura dominante e não da idade.

Outra característica desejável para as curvas de sítio é que uma parcela mantenha-se estável em uma mesma classe de sítio ao longo de sua existência (CLUTTER *et al.*, 1983), sendo isso comprovado pela Figura 10, na qual as alturas dominantes médias não apresentaram tendências em migrar entre sítios.

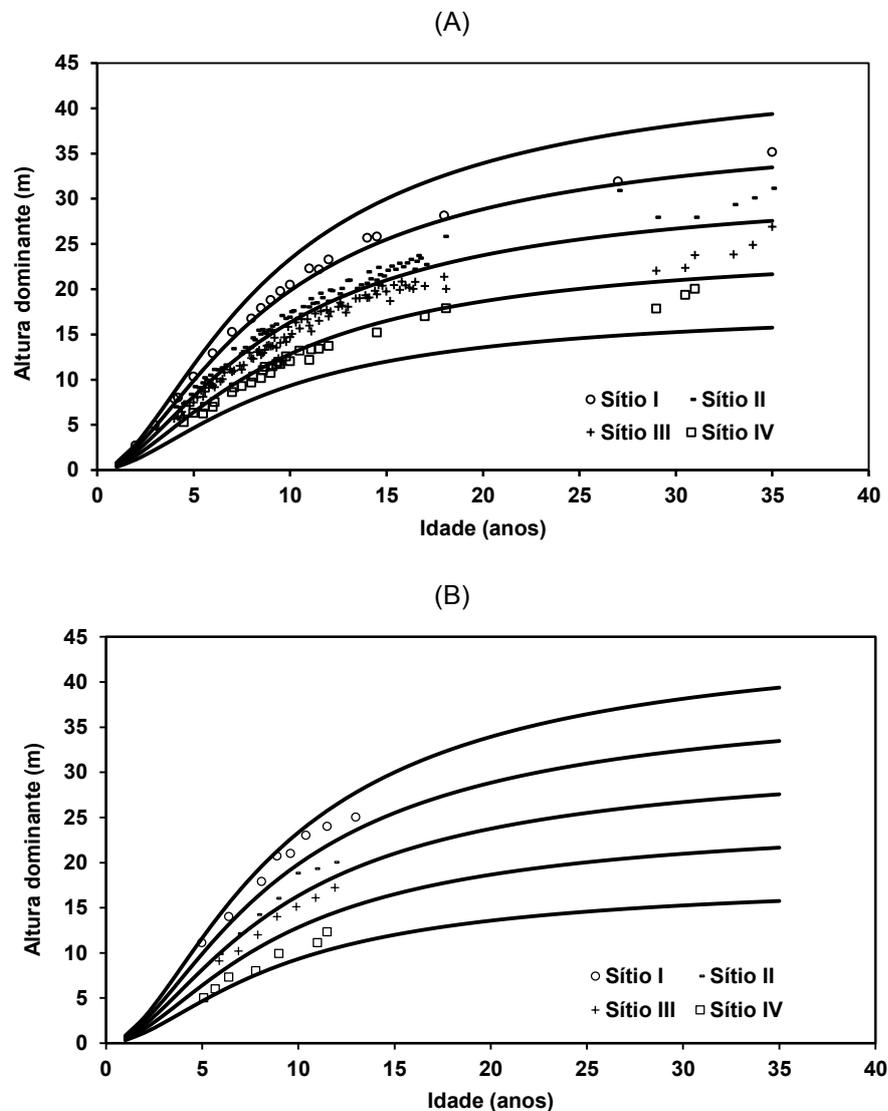


FIGURA 10 – COMPORTAMENTO DA ALTURA DOMINANTE MÉDIA ENTRE (A) E DENTRO (B) DE PARCELAS, EM FUNÇÃO DA IDADE, PARA *Pinus taeda*, EM PARTE DOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

Na Figura 10A foram plotadas as alturas dominantes médias das parcelas de cada sítio e idade e na Figura 10B as alturas dominantes correspondem a quatro (uma por sítio) parcelas permanentes escolhidas aleatoriamente e, conforme visto, elas permaneceram constantes nas mesmas classes de sítio.

Esses resultados positivos, bem como o adequado uso de quatro classes de sítio (Figura 8) confirmam a confiabilidade das curvas de sítio confeccionadas pelo modelo de Prodan, para *Pinus taeda*, nos estados do Paraná e Santa Catarina.

Os limites de altura dominante, distribuídos em quatro classes de sítio, ao longo das idades de 1 a 35 anos (Tabela 5) servem para subsidiar o planejamento de manejadores de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. A classificação abrange alturas de até 39,4 m, sendo este o limite superior da classe I, aos 35 anos de idade.

4 CONCLUSÕES

Considerando os dados de parcelas permanentes e temporárias de *Pinus taeda* obtidos em parte dos estados do Paraná e Santa Catarina, conclui-se que:

Dentre os modelos não-lineares testados, o de Prodan, Bailey 4 parâmetros e Mitscherlich apresentam melhores ajustes, mas o de Prodan é o mais adequado para retratar a curva média altura dominante *versus* idade, ao passo que o modelo de Schumacher, mesmo com acréscimo de um parâmetro de flexibilidade, mostrou ser o menos flexível.

O método da curva-guia mostrou ser adequado por apresentar resultados satisfatórios no que se refere à confiabilidade das curvas de sítio. Os testes estatísticos evidenciaram que o emprego de quatro classes de sítio, bem como a atribuição de 15 anos como idade-índice, fornece estimativas estáveis ao longo dos anos para classificar as alturas dominantes médias.

5 RECOMENDAÇÕES

Os resultados satisfatórios desta pesquisa fazem com que o emprego da tabela de classificação de sítios florestais pode ser feito para plantios de *Pinus taeda* localizados no Centro-sul paranaense, região metropolitana de Curitiba, Sudeste paranaense, Norte e o vale do Itajaí catarinense.

Vale ressaltar que tais resultados foram obtidos atribuindo uma idade-índice de 15 anos, sendo que sua comparação apenas é condizente considerando essa idade. Se for utilizada outra idade-índice ela poderá ser equacionada aplicando a mesma equação ajustada, porém com alteração do índice de sítio e idade de referência condizente.

Para as idades iniciais é comum ser encontrada uma flutuação entre classes de sítio. Recomenda-se evitar o emprego da tabela de sítios entre as idades de 1 a 5 anos. A partir daí, as tabelas podem ser utilizadas com confiabilidade.

REFERÊNCIAS

ASSMANN, E. **Waldetragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgessellschaft, 1961. 435p.

BILA, J. M.; SANQUETTA, C. R.; MACHADO, S. A. Classificação de sítios com base em fatores edáficos para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região de Prata, Minas Gerais. **Revista Floresta**, v. 42, n. 3, p. 465-474, 2012. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/19014>>. Acesso em: 30/9/2013.

CAMPOS, J. C. C., LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: Perguntas e respostas. 4ª edição, Viçosa, Editora UFV, 2013, 605p.

CLUTTER, J. L., FORTSON, J. C., PIENAAR, L. V., BRISTER, G. H., BAILEY, R. L. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333 p.

DIÉGUEZ-ARANDA, U.; GABRIEL, J.; GONZÁLEZ, Á. L.; ANTA, M. B. A. Site quality equations for *Pinus sylvestris* L. plantations in Galicia (northwestern Spain). **Annals of Forest Science**, v. 62, n. 2, p. 143–152, 2005. EDP Sciences. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1051/forest:2005006>>. Acesso em: 10/10/2013.

MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* L. na região central do estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 11, n. 2, p. 4-18, 1980. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/floresta/article/view/6270>>. Acesso em: 20/9/2013.

MARTINS, E. F. P.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; JANKOVSKI, T.; BRITO, C. C. R. Curvas de índice de sítio para leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit] no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, p. 365-376, 2007. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1968>>. Acesso em: 24/9/2013.

MIRANDA, R. O. V. **Modelagem em nível de povoamento para *Eucalyptus* sp. com estratificação em classes de precipitação pluviométrica**. Irati, 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012. Disponível em: <http://www.unicentrocienciasflorestais.com/site/destino_arquivo/rodrigo_otavio.pdf>. Acesso em: 24/11/2013.

OLIVEIRA, E. B. **Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de *Pinus taeda* L., com criterios quantitativos para a avaliação tecnica e economica de regimes de manejo.** Curitiba, 134 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080//dspace/handle/1884/25384>>. Acesso em: 20/9/2013.

OLIVEIRA, E. B.; OLIVEIRA, Y. M. M.; AHRENS, S.; MACHADO, S. A. Classificação de sítio para povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. no sul do Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 37, p. 5-18, 1998.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal.** 2ª edição, Santa Maria, FACOS-UFSM, 2008, 566p.

SCOLFORO, J. R. S. Curvas de índice de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, n. 45, p. 40–47, 1992.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal – módulo 3:** métodos para classificação de sítios florestais. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997, 151 p.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii* nos estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, v. 18, n. 12, p. 140-158, 1988a. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/6392>>. Acesso em: 21/9/2013.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, v. 18, n. 12, p. 159–173, 1988b. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/floresta/article/view/6391>>. Acesso em: 20/9/2013.

SELLE, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Classificação de sítio para *Pinus taeda* L., através da altura dominante, para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 4, n. 1, p. 77–95, 1994. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/299>>. Acesso em: 21/9/2013.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 1, p. 27-43, 2006. Disponível em: <<http://cascavel.cpd.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1885>>. Acesso em: 21/9/2013.

CAPÍTULO II

EFEITO DE REGIMES DE DESBASTE E DO SÍTIO EM VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE PLANTIOS DE *Pinus taeda* L., EM SANTA CATARINA

RESUMO

Os povoamentos florestais equiâneos submetidos a desbastes têm crescimento favorecido devido à retirada de árvores reduzir a competição entre indivíduos, o que estimula o desenvolvimento daqueles remanescentes. O conhecimento do comportamento das variáveis dendrométricas mediante as diferentes intensidades de desbaste e sítios florestais ainda é incipiente, e por isso adotou-se esse objetivo para o estudo. Foi conduzido um experimento florestal em povoamentos de *Pinus taeda* L., em Santa Catarina, onde foi feito um delineamento com cinco regimes de desbaste misto, efetuados com retirada da 5ª linha + seleção de 66%, 54%, 42%, 30% e 19% de árvores dominadas. Tais regimes foram nomeados como Tratamento 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. As repetições foram feitas em quatro sítios distintos, corroborando em delineamento em blocos casualizados (DBC), onde os tratamentos correspondem aos regimes de desbaste e os blocos aos sítios florestais. Os desbastes foram feitos entre 8 e 9 anos e, após isso, foram mensurados aos 12 anos de idade dos povoamentos, diâmetros a 1,3 m do solo (dap), altura total (h) e cubadas 185 árvores pelo método de Smalian, o que possibilitou o cálculo de volume de fuste individual (v_i) e fator de forma normal ($f_{1,3\text{ m}}$) das árvores. Foi feita uma análise de variância para as variáveis área basal (G), dap, h, v_i e $f_{1,3\text{ m}}$. A modelagem da relação hipsométrica e volumétrica foi efetuada para as vinte parcelas experimentais, em que seis modelos hipsométricos e volumétricos foram ajustados e selecionados por meio de análises estatísticas. Foi realizado o teste F de Graybill com intuito de reduzir o número de equações quando um mesmo modelo foi selecionado dentro do bloco (sítio). A análise de variância apontou diferenças estatísticas entre os tratamentos e os blocos para todas as variáveis analisadas, exceto o $f_{1,3\text{ m}}$. Os resultados ainda confirmaram parcialmente as hipóteses inicialmente levantadas, com diferença de que era esperado os tratamentos afetarem o $f_{1,3\text{ m}}$, porém esse resultado é um pressuposto de que 3,5 anos pós-desbaste é insuficiente para detectar tal variação. Concluiu-se que as linhas de estimativas dos modelos hipsométricos variam pouco entre os tratamentos, mas entre os blocos há uma tendência de redução da inclinação à medida que piora a qualidade do sítio. Quanto às estimativas volumétricas, existe uma variação entre tratamentos para árvores de maiores diâmetros e, entre os sítios, a tendência é semelhante à observada para as alturas. Também foi concluído que o número de equações pode ser reduzido. Foi destacada a importância do conhecimento de sítios e foi recomendado o desbaste de 5ª linha + 66% de árvores dominadas para obtenção de toras grossas.

Palavras-chave: Tratos silviculturais. Capacidade produtiva. Modelagem. Relação hipsométrica e volumétrica. Produção de toras.

CHAPTER II

EFFECT OF THINNING AND SITE ON DENDROMETRIC VARIABLES IN *Pinus taeda* L. STANDS IN SANTA CATARINA STATE

ABSTRACT

The even-aged forest stands submitted to thinning have growth favored due to the withdrawal of trees reduces the competition between individuals, which stimulates the development of those remaining. The knowledge of the dendrometric variables behavior by different thinning intensities and forest sites is still incipient, therefore was adopted such aim in this study. It was conducted a forest experiment in *Pinus taeda* L. stands in Santa Catarina state, where it was made a design with five mixed thinning regimes, performed withdrawal of the 5th line + 66%, 54%, 42%, 30% and 19% of selection dominated trees. Such regimes were named as Treatment 1, 2, 3, 4 and 5, respectively. The treatments were repeated in four different sites, according to randomized blocks design (RBD), where the treatments are thinning regimes and the blocks are the forest sites. The thinnings were made between 8 and 9 years and at the 12 years were measured diameter at 1.3 m above the ground (dbh), total height (h) and cubed 185 boles by Smalian method, that enabled to calculate their volumes (v_i) and normal form factors ($f_{1,3\text{ m}}$). It was applied an analysis of variance to the variables basal area (G), dap, h, v_i e $f_{1,3\text{ m}}$. The hypsometric and volumetric relation modeling was made to all twenty experimental plots, in which six hypsometric and volumetric models were fitted and selected by statistical analysis. The F of Graybill test was performed aiming to reduce the number of equations when the same model was selected into the block (site). The analysis of variance showed statistical differences between the treatments and blocks to all variables analyzed, except for the $f_{1,3\text{ m}}$. The results also confirmed partially the hypotheses initially raised, with difference that it was expected that the treatments would affect the $f_{1,3\text{ m}}$, however this result is presupposition that 3.5 years post-thinning is insufficient to detect such variation. It was concluded that the hypsometric model estimates vary little between treatments but between blocks there is a tendency to reduce their slopes as worsening the site. In relation to volumetric estimates there is a variation between treatments to larger trees and between sites the tendency is the same observed on heights. Also it was conclude that the number of equations can be reduced. Highlighted the importance of knowing the sites and it was recommended the thinning 5th line + 66% of selection dominant trees to obtain tick logs.

Keywords: Silvicultural treatments. Productive capacity. Modeling. Hypsometric and volumetric relation. Log production.

1 INTRODUÇÃO

Entre as décadas de 1960 e 1980, período em que decorreram os incentivos fiscais para os reflorestamentos, as espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* foram introduzidas em vários estados brasileiros, com finalidade de suprir primordialmente os programas nacionais de siderurgia e de papel e celulose.

A partir de então, com a ampliação do setor florestal, os reflorestamentos passaram a abastecer um nicho mais diversificado. Especialmente na região Sul do Brasil, povoamentos de *Pinus* spp. são plantados, sobretudo, com destino final às serrarias, móveis e painéis de madeira (ABRAF, 2013). Para atender o mercado, manejadores florestais utilizam de técnicas silviculturais apropriadas à finalidade que a floresta foi destinada.

Para a produção de toras grossas, por exemplo, almejadas por serem de alto valor agregado, é comum a aplicação de desbastes em determinada idade do povoamento, pois a retirada de árvores estimula o crescimento das remanescentes. Não obstante, a colheita de árvores provenientes do desbaste antecipa a receita uma vez obtida apenas no corte raso.

Contudo, as tomadas de decisão no que diz respeito ao tipo, idade, peso e ciclo do desbaste das florestas muitas vezes são baseadas em fundamentos empíricos, tornando-as dependentes da experiência do manejador florestal. Devido a isso, comumente são empregadas técnicas que auxiliam na determinação da melhor opção de desbaste (NOGUEIRA *et al.*, 2001; FINGER; SCHNEIDER, 1999; FINGER; SCHNEIDER, 1994).

Embora essas técnicas envolvam métodos quantitativos e de estoque, a adoção do regime de desbaste deve levar em consideração questões econômicas, como exemplo a relação de custo/benefício, visto que cada alternativa apresenta peculiaridades particulares, explicadas em Schneider e Schneider (2008). Ao mesmo tempo, nos casos em que a colheita das árvores desbastadas é mecanizada, uma das alternativas mais viáveis para tal é o desbaste sistemático, combinado ou não com outro método.

Notadamente, uma grande parte das empresas florestais no Sul do Brasil, que realiza desbastes, adota o tipo combinado, geralmente sistemático a cada cinco

linhas em conjunto ao desbaste por baixo, em que é estipulada uma porcentagem de área basal ou número de árvores remanescente.

Conforme Assmann (1961), a retirada das árvores altera as suas relações biométricas, visto que o procedimento consiste em uma intervenção ríspida da interação entre indivíduos do povoamento. Diante dessa afirmativa, a elucidação do comportamento de variáveis e suas relações em florestas submetidas a diferentes regimes de desbaste é útil para subsidiar os manejadores florestais nas tomadas de decisão. Além disso, pouco se sabe da dinâmica dos desbastes concernente aos sítios florestais onde as florestas crescem.

A escassez de pesquisas atualizadas referentes às boas práticas de desbaste instigou a realização desta pesquisa, a qual teve como propósito avaliar o comportamento da área basal (G), do diâmetro a 1,3 m do solo (d_{ap}), altura total (h), volume de fuste individual (v_i) e fator de forma ($f_{1,3\ m}$) de árvores em cinco regimes de desbaste para a espécie *Pinus taeda* L., em quatro sítios florestais no estado de Santa Catarina.

Conforme consolidado na literatura florestal, bem como abordado em Assmann (1961), a hipótese inicial é de que as variáveis G , d_{ap} , v_i e $f_{1,3\ m}$ sejam, sobretudo, afetadas pela densidade do povoamento florestal, ao passo que os sítios florestais influenciam, sobretudo na h e, medianamente no G , d_{ap} e v_i e $f_{1,3\ m}$.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do sítio e do desbaste na área basal, diâmetro, altura total, volume individual de fuste e no fator de forma, para a espécie *Pinus taeda* L., no estado de Santa Catarina.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o comportamento da área basal, diâmetro, altura total, volume individual e fator de forma de árvores de *Pinus taeda*, aos 12 anos de idade, submetidas a diferentes sítios e regimes de desbaste efetuados entre 8 e 9 anos de idade.
- Efetuar a modelagem hipsométrica e volumétrica de *Pinus taeda* em parcelas experimentais distribuídas em quatro sítios florestais e cinco regimes de desbaste.
- Verificar se existe semelhança estatística entre equações hipsométricas e volumétricas em diferentes tratamentos de desbaste, em sítios equivalentes em capacidade produtiva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA E EXPERIMENTO DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em povoamentos de *Pinus taeda* L. cujo espaçamento de plantio foi de 2,5 m x 2,5 m, o que totaliza em 1.600 plantas por hectare. Para realizar a pesquisa foram utilizados dados de 3.544 árvores em 183 parcelas circulares de 201 m² amostradas sistematicamente em um *grid* de 100 m x 100 m. Os povoamentos estão localizados nos municípios de Campo Alegre e Joinville, estado de Santa Catarina (Figura 11).

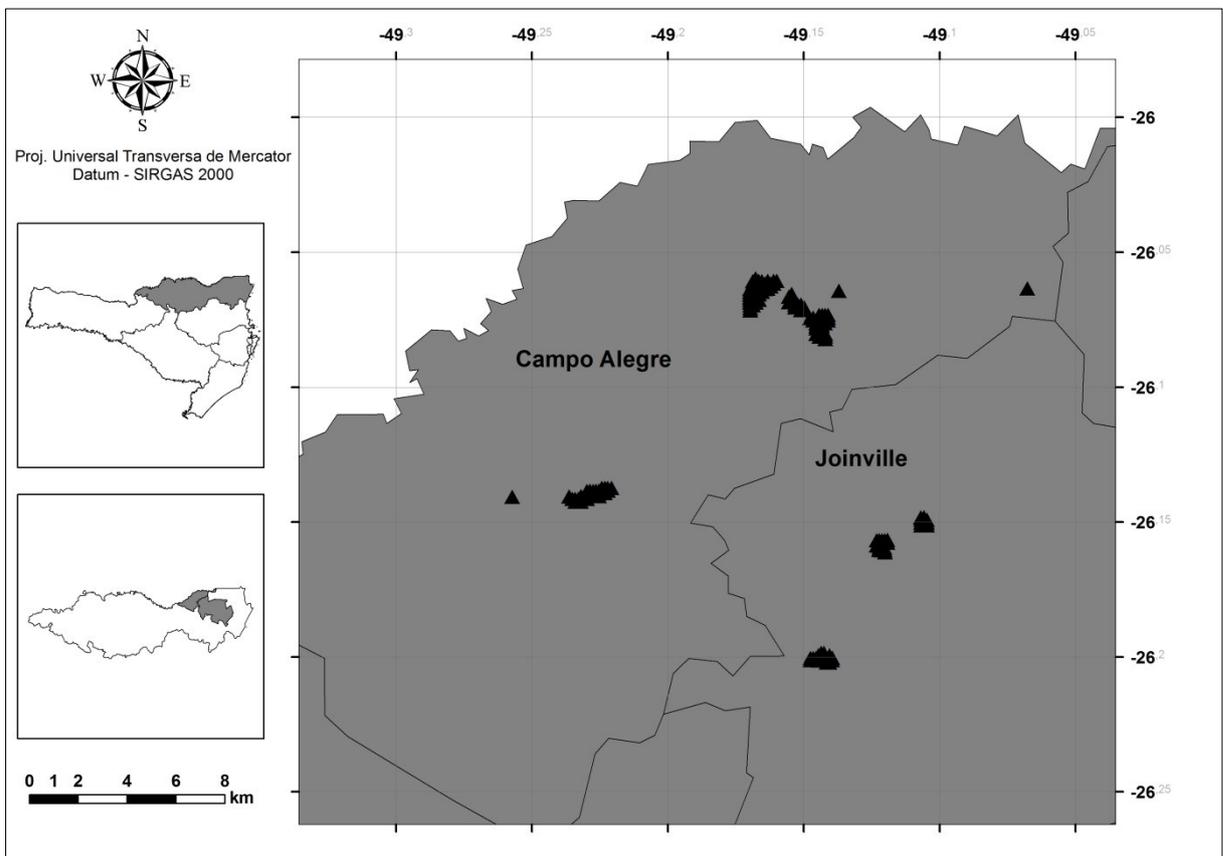


FIGURA 11 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE PARCELAS EXPERIMENTAIS EM *Pinus taeda*, NO ESTADO DE SANTA CATARINA.
FONTE: O autor (2014).

O experimento consistiu em submeter tais povoamentos a cinco regimes de desbaste, realizados entre 8 e 9 anos de idade. Os desbastes foram do tipo misto,

conciliando o sistemático e o por baixo (desbaste alemão), em que foi retirada uma linha de plantio a cada cinco, bem como árvores escolhidas do estrato inferior do dossel, em que a variação da porcentagem de seleção diferenciou os cinco regimes adotados.

Posteriormente foram mensurados diâmetros a 1,3 m do solo (dap) e alturas totais (h) das árvores remanescentes aos 12 anos de idade. Ainda foram estimados o volume de fuste individual (v_i), em m^3 , a área basal (G), em m^2/ha e o fator de forma normal ($f_{1,3 m}$), calculados pelas fórmulas $G = \pi \sum \frac{dap^2}{40.000}$ e $f_{1,3 m} = \frac{40.000 \cdot v_i}{\pi \cdot dap^2 \cdot h}$, em que dap: diâmetro a 1,3 m do solo, em cm; e π : constante “pi”. Para isso, foram cubadas 185 árvores pelo método de Smalian, selecionadas equitativamente de acordo com a distribuição diamétrica observada nas parcelas.

Foram avaliados os valores médios de G, dap, h, v_i e $f_{1,3 m}$ mediante os diferentes regimes de desbaste adotados. A capacidade produtiva das parcelas foi classificada em quatro sítios florestais, conforme efetuado no Capítulo I, em que esse fator foi considerado como uma condicionante de local. As alturas dominantes dos sítios I, II, III e IV equivalem, aos 15 anos de idade, a 27,8 m, 23,3 m, 18,8 m e 14,3 m, respectivamente.

A comparação estatística foi feita por meio de uma análise de variância (ANOVA) com prévia constatação de homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. O experimento foi estruturado com delineamento em blocos casualizados (DBC), no qual os tratamentos correspondem aos regimes de desbaste e os blocos aos sítios florestais (Tabela 6).

TABELA 6 – EXPERIMENTAÇÃO DE REGIMES DE DESBASTE EFETUADOS EM QUATRO SÍTIOS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

BLOCO	TRATAMENTO	DESBASTE		
		REMANESCENTE*	COLHEITA*	TIPO
1, 2, 3 e 4	1	435	1.165	5ª linha + 66% por baixo
	2	589	1.011	5ª linha + 54% por baixo
	3	742	858	5ª linha + 42% por baixo
	4	896	704	5ª linha + 30% por baixo
	5	1.037	563	5ª linha + 19% por baixo

* expresso por árvores/ha.

Nos casos em que a ANOVA revelou diferença estatística ao nível de 95% de probabilidade, procedeu-se o teste de Tukey, nessa mesma probabilidade.

2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

As relações dendrométricas foram equacionadas por meio de ajuste de modelos matemáticos, para cada tratamento nos blocos, cuja finalidade foi avaliar o efeito da densidade de árvores e do sítio florestal na altura total e no volume de fuste individual. Os modelos lineares foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados e os não-lineares pelo método de Marquardt. Os modelos hipsométricos tradicionais testados podem ser observados na Tabela 7.

TABELA 7 – MODELOS HIPSONÉTICOS TRADICIONAIS AJUSTADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda* AOS 12 ANOS DE IDADE, EM SANTA CATARINA.

AUTOR	MODELO	Nº
Henricksen	$h = a_0 + a_1 \cdot \ln(\text{dap}) + \varepsilon$	(1)
Assmann	$h = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{1}{\text{dap}}\right) + \varepsilon$	(2)
Trorey	$h = a_0 + a_1 \cdot \text{dap} + a_2 \cdot \text{dap}^2 + \varepsilon$	(3)
Curtis	$\ln(h) = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{1}{\text{dap}}\right) + \varepsilon$	(4)
Näslund	$h = \frac{\text{dap}^2}{a_0 + a_1 \cdot \text{dap} + a_2 \cdot \text{dap}^2} + 1,3 + \varepsilon$	(5)
Stoffels	$\ln(h) = a_0 + a_1 \cdot \ln(\text{dap}) + \varepsilon$	(6)

h: altura total, em m; dap: diâmetro a 1,3 m do solo, em cm; a_i: parâmetros do modelo; ln: logaritmo neperiano; ε: erro aleatório.

A Tabela 8 mostra os modelos volumétricos testados, sendo cinco de dupla entrada e um de simples entrada (12), empregado com intuito de se precaver de ajustes ineficazes em parcelas em que, eventualmente, o volume seja independente da altura, devido ao efeito da densidade de árvores. Os modelos de Schumacher-Hall e Husch foram transformados (linearizados) de sua fórmula original.

TABELA 8 – MODELOS VOLUMÉTRICOS AJUSTADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda* AOS 12 ANOS DE IDADE, EM SANTA CATARINA.

AUTOR	MODELO	Nº
Spurr	$v_i = a_0 + a_1 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + \varepsilon$	(7)
Schumacher-Hall linear	$\ln(v_i) = a_0 + a_1 \cdot \ln(\text{dap}) + a_2 \cdot \ln(h) + \varepsilon$	(8)

continua

		conclusão
Stoate	$v_i = a_0 + a_1 \cdot \text{dap}^2 + a_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + a_3 \cdot h + \varepsilon$	(9)
Naslund	$v_i = a_1 \cdot \text{dap}^2 + a_2 \cdot \text{dap}^2 \cdot h + a_3 \cdot \text{dap} \cdot h^2 + a_4 \cdot h^2 + \varepsilon$	(10)
Spurr logarítmico	$\ln(v_i) = a_0 + a_1 \cdot \ln(\text{dap}^2 \cdot h) + \varepsilon$	(11)
Husch linear	$\ln(v_i) = a_0 + a_1 \cdot \ln(d) + \varepsilon$	(12)

v_i : volume individual do fuste, em m³; h: altura total, em m; dap: diâmetro a 1,3 m do solo, em cm; a_i : parâmetros do modelo; ln: logaritmo neperiano; ε : erro aleatório.

Para os modelos volumétricos cuja variável dependente encontra-se na forma logarítmica, a discrepância da estimativa foi corrigida aplicando o fator de Meyer (f_M) expresso por $f_M = e^{0,5 \cdot s_{yx}^2}$, conforme efetuado por Araújo *et al.* (2012).

2.2.1 Seleção de modelos

Foram testadas três estatísticas como critério de seleção do melhor modelo, em que foi obedecido o menor erro padrão da estimativa, em porcentagem ($s_{yx}\%$), maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e a melhor dispersão gráfica dos resíduos, em porcentagem ($R\%$), cujas fórmulas podem ser descritas conforme (16), (18) e (19):

$$s_{yx}\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \cdot \frac{100}{\bar{y}} \quad (16)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2} \right) \quad (17)$$

$$R^2_{aj.} = 1 - \left[(1 - R^2) \cdot \left(\frac{n - 1}{n - p} \right) \right] \quad (18)$$

$$R\% = \frac{Y_i - \hat{y}_i}{Y_i} \cdot 100 \quad (19)$$

Em que: Y_i e \hat{y}_i = variável dependente observada e estimada, respectivamente; \bar{y} = média das variáveis dependentes observadas; n e p = número de observações e parâmetros do modelo, respectivamente.

2.2.2 Teste de identidade entre modelos

Foi empregado o teste de identidade de modelos desenvolvido por Graybill (1976) para identificar a igualdade estatística entre as equações hipsométricas e as volumétricas, conforme Araújo *et al.* (2012) e Queiroz *et al.* (2008). O teste permite empregar um menor número de equações a tratamentos em que um mesmo modelo foi selecionado.

A técnica consiste em verificar se existe semelhança estatística entre modelos lineares, por meio do teste F de Graybill (Tabela 9), em que se emprega a diferença entre a soma de quadrados da regressão (SQreg) dos m modelos completos e o reduzido, tal como segue: $\text{Redução} = \sum_{m=1}^M \hat{\beta}'_m X'_m Y_m - \hat{\theta}' \sum_{m=1}^M X'_m Y_m$.

Em outras palavras, procede-se o ajuste individualmente aos tratamentos e em seguida agrupa aqueles em que o mesmo modelo foi selecionado. As SQreg dos modelos individualmente ajustados (modelos completos) devem ser somadas e esse valor é subtraído pela SQReg do modelo reduzido, que foi ajustado com os possíveis tratamentos agrupados (Tabela 10).

TABELA 9 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS AJUSTADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

FONTES DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	F _{CALCULADO}
Modelo completo	h.p	SQ(completo)		
Modelo reduzido	p	SQ(reduzido)		
Diferença para testar a hipótese	(h-1).p	SQ(completo)- SQ(reduzido)	SQ(diferença)/ ((h-1)p)	QM(diferença)/ QM(resíduos)
Resíduos	n-(h.p)	SQ(total)- SQ(completo)	SQ(resíduos)/ (n-hp)	
Total	n	SQ(total)		

G.L.: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; h: número de tratamentos agrupados; p: número de parâmetros do modelo; n: número de observações do modelo completo. FONTE: Regazzi (1996), modificado pelo autor (2014).

Os seis modelos hipsométricos (Tabela 7) e volumétricos (Tabela 8), ajustados aos cinco tratamentos nos quatro blocos, totalizam em cento e vinte ajustes por variável (v_i e h). A combinação de tratamentos agrupados com um

mesmo modelo selecionado é definida por $C(n,p) = \frac{n!}{p!(n-p)!}$ (lê-se combinação de n elementos tomados p a p, com $p \leq n$).

Nesse caso, os n elementos correspondem aos cinco tratamentos em análise e p o número de modelos iguais selecionados, para os tratamentos em um mesmo bloco. As possíveis combinações de agrupamento dos tratamentos estão descritas na Tabela 10.

TABELA 10 – POSSIBILIDADES DE AGRUPAMENTO DE TRATAMENTOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

POSSIBILIDADE	Nº DE MODELOS IGUAIS	TRATAMENTOS AGRUPADOS	C(n,p)
1	5	1, 2, 3, 4 e 5	C(5,5)
2	4	1, 2, 3 e 4	C(5,4)
3	4	1, 2, 3 e 5	
4	4	1, 2, 4 e 5	
5	4	1, 3, 4 e 5	
6	4	2, 3, 4 e 5	
7	3	1, 2 e 3	
8	3	1, 2 e 4	
9	3	1, 2 e 5	
10	3	1, 3 e 4	
11	3	1, 3 e 5	
12	3	1, 4 e 5	
13	3	2, 3 e 4	
14	3	2, 3 e 5	
15	3	2, 4 e 5	
16	3	3, 4 e 5	
17	2	1 e 2	C(5,2)
18	2	1 e 3	
19	2	1 e 4	
20	2	1 e 5	
21	2	2 e 3	
22	2	2 e 4	
23	2	2 e 5	
24	2	3 e 4	
25	2	3 e 5	
26	2	4 e 5	

FONTE: O autor (2014).

A título de exemplificação de caso, considere a possibilidade 3 com C(5,4), no qual é possível que apenas um modelo seja selecionado para quatro (1, 2, 3 e 5)

dos cinco tratamentos e apresente valor de F de Graybill não significativo para esse grupo, indicando igualdade entre os modelos completos e o reduzido. Para um valor de F de Graybill significativo, o grupo é re combinado com finalidade de obter um valor de F não significativo.

Como segundo exemplo, considere a Possibilidade 20 com C(5,2), em que dois tratamentos (1 e 5) são agrupados, pois dois dos cinco modelos selecionados são iguais. Para um valor F de Graybill não significativo, emprega-se o modelo reduzido, caso contrário é inconveniente re combinar o grupo, visto que se testam apenas dois tratamentos, logo, os modelos completos devem ser empregados. Obviamente aos tratamentos restantes são aplicados os modelos pertinentes.

Consequentemente, vale salientar que as possibilidades ainda podem ser conjuntas quando, por exemplo, em certo bloco, um modelo foi selecionado para três tratamentos e outro modelo para os dois tratamentos restantes.

Conforme Regazzi (1996), a hipótese formulada para a identidade entre modelos é dada por $H_0: \beta_{-1} = \beta_{-2} = \dots = \beta_{-N}$ (os modelos completos são idênticos ao modelo reduzido); e $H_1: \beta_{-i} \neq \beta_{-j}$ (nem todos os modelos completos são idênticos ao reduzido).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EXPERIMENTAÇÃO FLORESTAL

O teste de Bartlett apontou homogeneidade das variâncias para as cinco variáveis analisadas, sendo observados valores de Qui-quadrado corrigido (χ^2_{corr}) inferiores ao $\chi^2_{\text{tabelado}} = 7,81$, ao nível de 95% de probabilidade.

A análise de variância (ANOVA) revelou que os tratamentos (regimes de desbaste) e os blocos (sítios florestais) exerceram efeito nas variáveis G, dap, h e v_i das árvores mensuradas aos doze anos de idade, ao nível de 95% de probabilidade. Logo, foi aplicado o teste de Tukey, nessa mesma probabilidade, para detectar os tratamentos e os blocos que apresentaram médias diferentes entre si, cujos resultados, bem como outras estatísticas descritivas, podem ser visualizados na Tabela 11.

TABELA 11 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS E TESTE TUKEY (95% DE PROBABILIDADE) APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

TRATAMENTO	G (m ² /ha)	dap (cm)	h (m)	v_i (m ³)	$f_{1,3m}$
1	21,5 e	24,7a	17,4a	0,4190a	0,4584
2	26,8 d	23,8 b	17,2 b	0,3858ab	0,4596
3	31,6 c	23,2 c	17,1 c	0,3631 bc	0,4591
4	36,1 b	22,8 c	16,9 d	0,3452 c	0,4593
5	39,8a	22,2 d	16,8 e	0,3272 c	0,4612
$F_{\text{calculado}}$	65,45*	56,83*	71,57*	11,53*	0,80 ^{ns}
Média	31,2	23,3	17,1	0,3680	0,4595
CV(%)	23,3	4,1	1,5	9,7	0,2
BLOCO	G (m ² /ha)	dap (cm)	h (m)	v_i (m ³)	$f_{1,3m}$
1	42,1a	27,8a	22,4a	0,6249a	0,4595
2	35,8 b	25,2 b	18,9 b	0,4350 b	0,4602
3	27,8 c	22,1 c	15,3 c	0,2710 c	0,4593
4	19,1 d	18,3 d	11,7 d	0,1413 d	0,4591
$F_{\text{calculado}}$	154,25*	1.287,87*	30.379,81*	492,17*	0,23 ^{ns}
Média	31,2	23,3	17,1	0,3680	0,4595
CV(%)	32,0	17,5	27,0	56,8	0,1

Valores seguidos de mesma letra são estatisticamente iguais, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey; dap: diâmetro a 1,3 m do solo; h: altura total; v_i : volume de fuste individual; $f_{1,3m}$: fator de forma normal; CV(%): coeficiente de variação, em porcentagem; ns e *: não significativo e significativo, ao nível de 95% de probabilidade, respectivamente.

Os valores de $F_{\text{calculado}}$ observados para os tratamentos contrastam em parte a hipótese inicial de que as variáveis G , dap , v_i e $f_{1,3\text{ m}}$ sejam, sobretudo, afetadas pela densidade de árvores, visto que não era esperado as alturas serem influenciadas pelos tratamentos. Também não era esperado que o $f_{1,3\text{ m}}$ tivesse o valor de $F_{\text{calculado}}$ não significativo; resultados semelhantes foram encontrados por Araújo *et al.* (2012), Inoue *et al.* (2011), Nogueira *et al.* (2008), Trevisan *et al.* (2007), Leite *et al.* (2006) e Berger *et al.* (2002).

No entanto, considerando os regimes de desbaste adotados, vale salientar que foi assumida a condição de retirada de árvores dominadas, o que propicia o estreitamento da distribuição normal das variáveis, sendo proporcional ao número de árvores dominadas desbastadas, conforme explicado por Assmann (1961) e exemplificado na Figura 12A.

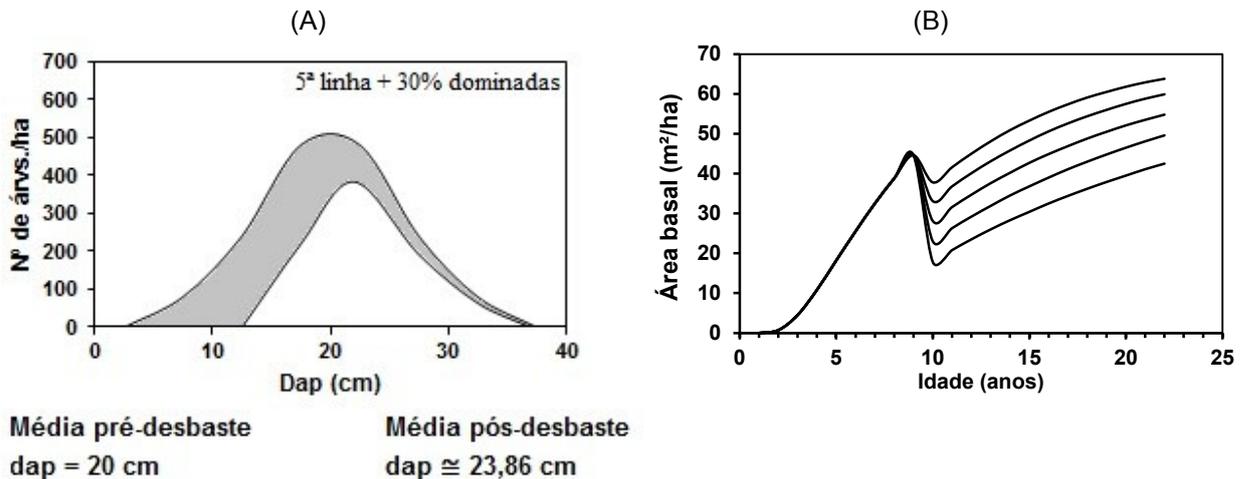


FIGURA 12 – SIMULAÇÕES DA DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS DE ÁRVORES (A) E ÁREA BASAL DE POVOAMENTOS (B) EM REGIMES DE DESBASTE COM PESOS DIFERENTES. FONTE: O autor (2014).

Como consequência, os tratamentos experimentados foram compostos por indivíduos naturalmente maiores em h , contribuindo para que os tratamentos apresentem médias tão superiores quanto maior o rigor de seleção das árvores. Apesar de a sistematização representar 20% da retirada das árvores ao longo da distribuição normal, foi observado que as porcentagens de seleção adotadas foram suficientes para gerar médias de h estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

Do mesmo modo, a diferenciação significativa das médias de dap , em todos os tratamentos, pode ter contribuição do desbaste de árvores dominadas e não apenas corresponder ao efeito da densidade de árvores. Com isso, a concepção de

área basal é vantajosa no que diz respeito ao grau de ocupação da terra, tornando-a uma variável interessante nas tomadas de decisão.

Em relação ao $f_{1,3m}$, a expectativa de que essa variável fosse afetada pelos tratamentos deve-se ao fato dela ser dependente de fatores como densidade de árvores (SCOLFORO, 2004). Porém, como as medições foram feitas, em média, 3,5 anos após o desbaste, é prudente levantar a hipótese de que os tratamentos ainda não alcançaram estagnação em área basal (Figura 12B).

Em outras palavras, o tempo inicial (t_0), correspondente ao momento instantâneo após terem sido efetuados os desbastes, é caracterizado por uma instância comum a todos os tratamentos, pois as árvores possuem espaço para crescer devido ao efeito da densidade ter sido reduzido, que será expressivo com o acréscimo da área basal do povoamento.

Em analogia, o efeito da densidade e competição entre indivíduos será observado em um tempo i (t_i). Nesse caso, como as médias do $f_{1,3m}$ foram estatisticamente semelhantes entre si, $t_i - t_0$ é maior que 3,5 anos, para todos os tratamentos, considerando a aplicação de tais desbastes aos nove anos de idade. Assim, as médias da variável $f_{1,3m}$ podem ser significativamente diferentes em um horizonte posterior, o que requer a execução de novas medições.

Com isso, a realização de inventários florestais consecutivos torna-se crucial para a determinação da época e intensidade de um segundo ou terceiro desbaste, sendo algumas técnicas apresentadas e discutidas por Nogueira *et al.* (2001), Finger e Schneider (1999), Mainardi *et al.* (1996) e Finger e Schneider (1994)

Em relação ao v_i , esse teve três grupos de tratamentos distinguidos pela ANOVA, indicando que essa variável foi menos afetada do que a G e h, as quais tiveram médias diferentes em todos os tratamentos (Tabela 11).

Em relação aos blocos, os resultados mostrados na Tabela 11 corroboram com a hipótese inicial de que os sítios florestais influenciam menos no $f_{1,3m}$, medianamente na G, no dap e v_i e sobretudo na h, sendo isso confirmado por meio da significância dos valores de $F_{calculado}$, em que resultados semelhantes foram encontrados por Machado *et al.* (2008) e Bartoszeck *et al.* (2004), em *Mimosa scabrella* (Benth.) e Gomes *et al.* (1997), para *Pinus taeda*.

Em adicional, vale ressaltar que os valores de coeficiente de variação dos blocos (CV%), em comparação aos dos tratamentos, foram superiores para todas as

variáveis, indicando que o fator sítio florestal foi apropriadamente isolado por meio do DBC.

O maior valor observado de $F_{\text{calculado}}$, correspondente à h , bem como a diferenciação de todas as médias dos blocos, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey, confirma a alta correlação dessa variável com os sítios, até mesmo para o dap , que foi estatisticamente diferente entre blocos. Em relação ao v_i , os resultados obtidos eram esperados, em que o acréscimo dos volumes fosse obtido em sítios melhores. Finalmente, quanto ao $f_{1,3 m}$, foi observado que a conicidade de árvores não seguiu uma tendência conforme a qualidade do sítio, contrastando ao que foi abordado por Scolforo (2004).

Esses resultados confirmam a importância de se classificar sítios florestais quanto à sua capacidade produtiva, pois mesmo em povoamentos distintos em densidades de árvores, ou seja, onde a competição entre indivíduos é diferenciada, o sítio comportou-se como um fator limitante ao crescimento de árvores de *Pinus taeda*, em Santa Catarina.

3.2 RELAÇÕES DENDROMÉTRICAS

O comportamento das alturas totais e volumes de fuste individual foram modelados por tratamento (densidade de árvores) e bloco (sítio florestal). Foi testado o método de ajuste Forward para os modelos que apresentaram coeficientes não significativos, contudo foi priorizada a equação que resultasse em menor erro padrão da estimativa, em porcentagem ($s_{yx}\%$), razão pela qual foram mantidas as equações completas (com coeficientes não significativos).

Os resultados mostrados nas Tabelas 12 e 13 nos itens 3.2.1 e 3.2.2, referem-se às estatísticas e coeficientes dos modelos hipsométricos e volumétricos selecionados por parcela, respectivamente. Informações adicionais quanto ao desempenho dos outros modelos testados podem ser observadas nas Tabelas contidas nos Apêndices 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9.

3.2.1 Hipsometria

Os seis modelos de relação hipsométrica ajustados aos cinco regimes de desbaste nos quatro sítios totalizaram em cento e vinte ajustes, resultando em coeficientes significativos e alguns não significativos, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste F de Fisher. Os valores de erro padrão da estimativa, em percentagem $s_{yx}(\%)$ e coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), bem como os coeficientes de ajuste dos modelos selecionados estão apresentados por parcela na Tabela 12.

TABELA 12 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSONÉTRICA SELECIONADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	AUTOR	a_0	a_1	a_2	$s_{yx}(\%)$	$R^2_{aj.}$	Nº
T1B1	Stoffels	1,59831	0,42563		5,34	0,7842	6
T2B1	Curtis	3,50222	-11,91209		6,61	0,7475	4
T3B1	Henricksen	-12,84545	10,19708		10,64	0,6609	1
T4B1	Curtis	3,42035	-10,67222		7,26	0,7415	4
T5B1	Henricksen	-10,20180	9,31579		7,36	0,7524	1
T1B2	Stoffels	1,99445	0,28309		5,79	0,4912	6
T2B2	Trorey	6,69073	0,66881	-0,00813	6,74	0,5176	3
T3B2	Curtis	3,19056	-7,58674		5,32	0,6361	4
T4B2	Näslund	1,10073	0,37595	0,04300	4,56	0,7480	5
T5B2	Näslund	1,41843	0,37347	0,04219	5,73	0,6872	5
T1B3	Curtis	3,14936	-8,13163		8,77	0,6667	4
T2B3	Näslund	6,98697	-0,22393	0,06328	7,16	0,6356	5
T3B3	Näslund	3,09875	0,27731	0,04903	7,31	0,6821	5
T4B3	Curtis	3,12271	-7,75389		6,02	0,7345	4
T5B3	Näslund	4,57405	0,04808	0,05594	6,23	0,7139	5
T1B4	Henricksen	-1,45876	5,16679		8,23	0,4215	1
T2B4	Assmann	18,17814	-77,83549		10,79	0,2062	2
T3B4	Assmann	19,35779	-108,03243		6,49	0,6281	2
T4B4	Trorey	-0,42816	1,22575	-0,02472	6,46	0,6688	3
T5B4	Assmann	18,11743	-83,62571		6,24	0,7192	2

Letras “T” e “B”: tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i : parâmetros do modelo; $s_{yx}(\%)$: erro padrão da estimativa, em percentagem; $R^2_{aj.}$: coeficiente de determinação ajustado.

A estatística de precisão $s_{yx}(\%)$ variou de 4,56% a 10,79%, valores observados nas parcelas T4B2 e T2B4, respectivamente, e o $R^2_{aj.}$ esteve entre 0,2062 e 0,7842, para as parcelas T2B4 e T1B1 respectivamente, com semelhantes resultados observados por Donadoni *et al.* (2010), para *Pinus caribaea* var.

hondurensis e *P. tecunumanii*, por Soares *et al.* (2004), para *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e por Bartoszeck *et al.* (2002), em *Mimosa scabrella*.

Araújo *et al.* (2012), ao estudarem a relação hipsométrica da espécie *Eremanthus erythropappus* encontraram valores de $s_{yx}\%$ próximos aos obtidos no presente trabalho, porém a estatística $R^2_{aj.}$ foi de desempenho inferior, em comparação aos observados na Tabela 12.

Em um contexto geral, os modelos de Curtis (4) e Näslund (5) apresentaram os melhores ajustes, sendo cada um deles selecionados em cinco das vinte parcelas do experimento, seguidos dos modelos de Assmann (2) e Henricksen (1), ambos selecionados em três delas, e Stoffels (6) e Trorey (3), ambos selecionados em duas parcelas.

Alguns dos resíduos, em porcentagem (R%), obtidos na estimativa das alturas pelos modelos apresentados na Tabela 12 podem ser observados na Figura 13. No Apêndice 5 podem ser vistos todos os vinte gráficos de resíduos, nos quais estão agrupados por tratamento (densidade de árvores), separados por bloco (sítio) e apresentados em função do diâmetro a 1,3 m do solo (dap), em cm.

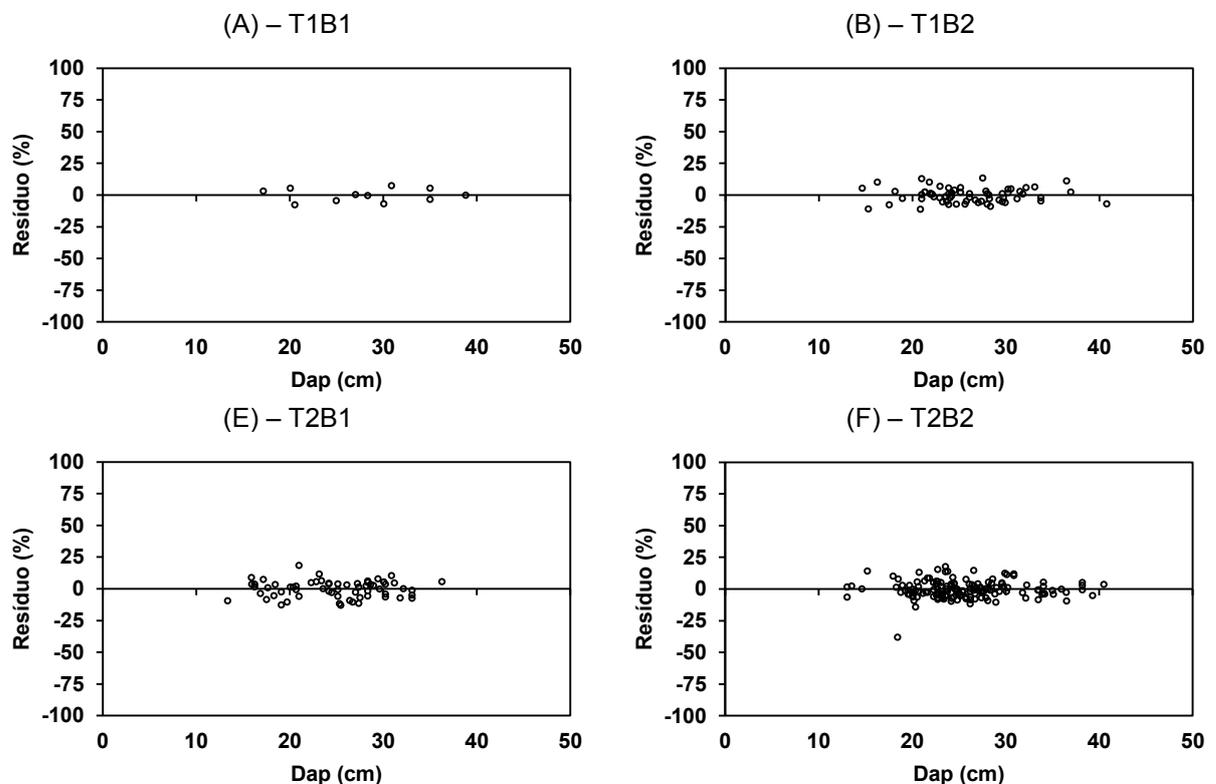


FIGURA 13 – DISPERSÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS DA ESTIMATIVA DE ALTURAS TOTAIS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

Essa amostra de quatro gráficos representa os outros dezesseis, os quais mantiveram comportamento semelhante aos da Figura 13. As equações obtidas propiciaram estimativas não tendenciosas das alturas em relação a uma escala de diâmetro a 1,3 m do solo (dap) de 0 a 50 cm. Os resíduos, em porcentagem (R%) estiveram majoritariamente contidos entre $\pm 25\%$ para as parcelas do experimento.

As linhas de estimativa dos modelos hipsométricos apresentados na Tabela 12 podem ser observadas na Figura 14, por bloco (sítio florestal), em função do diâmetro a 1,3 m do solo (dap), em cm.

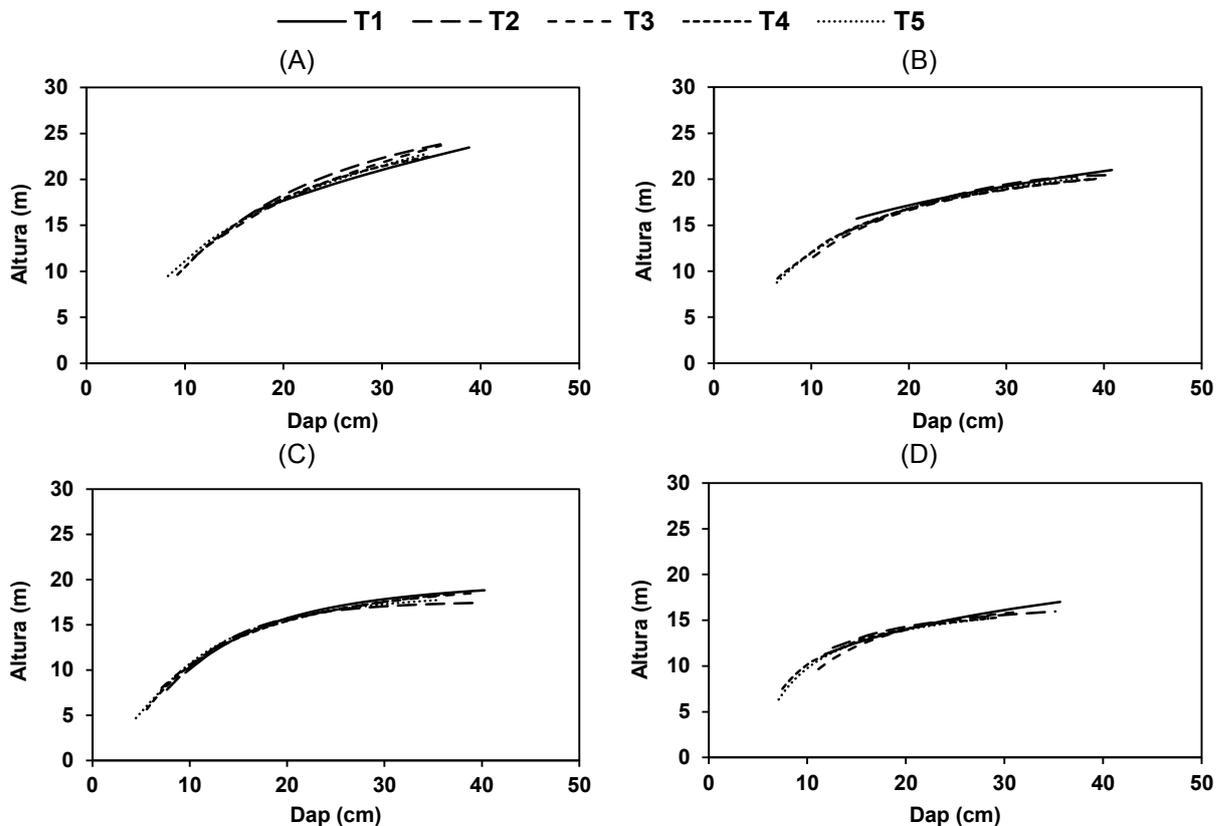


FIGURA 14 – ALTURAS ESTIMADAS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO I (A), II (B), III (C) E IV (D) DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

A Figura 14 confirma o comportamento esperado da altura total de árvores em sítios de diferentes capacidades produtivas, em que as linhas de estimativa para os cinco tratamentos têm suas inclinações reduzidas do sítio melhor (I) ao pior (IV), correspondentes às alturas dominantes médias de 27,8 m e 14,3 m (aos 15 anos), respectivamente.

O deslocamento das curvas para direita do eixo das abscissas corresponde ao número de árvores dominadas removidas, que foi crescente do tratamento 5 ao

tratamento 1. No sítio I a distinção das linhas de estimativa das alturas foi possível de ser visualizada a partir do diâmetro de 20 cm, porém pouco pronunciada. Do mesmo modo para o sítio III, no qual a diferenciação dos tratamentos foi vista para os diâmetros maiores que 30 cm.

Em relação ao sítio II, o comportamento da relação hipsométrica, em todos os tratamentos, aparentemente foi mais homogêneo que os demais, com exceção do Tratamento 1, correspondente ao desbaste de quinta linha mais 66% de árvores dominadas, cuja linha de estimativa esteve visivelmente mais deslocada para a direita, em relação às demais. No sítio IV também foi notada uma homogeneidade para os tratamentos.

Os resultados mostram que o efeito do sítio florestal foi mais expressivo que a densidade de árvores e corrobora ao que foi observado por Bartoszeck *et al.* (2004), em povoamentos de *Mimosa scabrella*, em que o sítio e a idade afetaram mais a relação hipsométrica do que a densidade de árvores.

Em um estudo efetuado por Araújo *et al.* (2012), em plantios homogêneos de *Eremanthus erythropappus*, a partir da ilustração de gráficos de altura em função do dap, foi possível notar o comportamento semelhante da relação hipsométrica em quatro diferentes densidades de plantas, em que a distinção dessa relação foi observada quando comparadas diferentes idades.

3.2.2 Volumetria

Os ajustes dos modelos de volume individual resultaram em coeficientes significativos e não significativos a 95% de probabilidade, pelo teste F de Fisher. Os valores de erro padrão da estimativa, em porcentagem $s_{yx}(\%)$ e coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), bem como os coeficientes de ajuste dos modelos selecionados estão apresentados por parcela na Tabela 13.

TABELA 13 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DE MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL SELECIONADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	AUTOR	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	$s_{yx}(\%)$	$R^2_{aj.}$	Nº
T1B1	Husch	-8,26487	2,31091				7,67	0,9770	12

continua

									conclusão
T2B1	Stoate	-0,24112	0,00054	0,00001	0,01284		11,80	0,9428	9
T3B1	Spurr	0,01355	0,00004				9,91	0,9631	7
T4B1	Näslund	-	0,00061	-0,00002	0,00006	-0,00051	8,65	0,9580	10
T5B1	Näslund	-	0,00114	-0,00008	0,00012	-0,00127	8,93	0,9624	10
T1B2	Stoate	0,28342	-0,00051	0,00006	-0,01546		8,34	0,9675	9
T2B2	Stoate	0,13186	-0,00065	0,00006	-0,00365		7,75	0,9722	9
T3B2	Stoate	0,06170	-0,00060	0,00006	0,00124		7,99	0,9551	9
T4B2	Stoate	0,06942	-0,00023	0,00004	-0,00206		7,74	0,9594	9
T5B2	Stoate	0,11752	-0,00048	0,00006	-0,00366		8,51	0,9582	9
T1B3	Näslund	-	0,00003	0,00006	-0,00007	0,00083	7,12	0,9830	10
T2B3	Näslund	-	0,00039	-0,00001	0,00004	-0,00021	6,90	0,9725	10
T3B3	Näslund	-	-0,00001	0,00005	-0,00004	0,00055	7,54	0,9750	10
T4B3	Näslund	-	0,00025	0,00001	0,00001	0,00002	6,17	0,9707	10
T5B3	Näslund	-	0,00034	4,24E-06	0,00002	-0,00008	6,52	0,9715	10
T1B4	Sc.-Hall	0,00005	2,12486	0,76893			6,12	0,9814	8
T2B4	Stoate	-0,30639	0,00102	-0,00002	0,01957		7,90	0,9773	9
T3B4	Stoate	-0,13060	0,00061	-4,9E-06	0,00978		7,04	0,9608	9
T4B4	Spurr	-0,00478	0,00004				7,55	0,9520	7
T5B4	Spurr	-0,00329	0,00004				6,98	0,9622	7

Letras "T" e "B": tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i : parâmetros do modelo; $s_{yx}\%$: erro padrão da estimativa, em porcentagem; R^2_{aj} : coeficiente de determinação ajustado.

Conforme Tabela 13, a estatística $s_{yx}\%$ variou de 6,12% a 11,80%, para os modelos de Schumacher-Hall e Stoate, nas parcelas T1B4 e T2B1, respectivamente. Os valores de R^2_{aj} estiveram entre 0,9428 e 0,9830, para os modelos de Stoate e Näslund, nas parcelas T2B1 e T1B3, respectivamente.

Estudos realizados por Pelissari *et al.* (2011), em povoamentos homogêneos de pinus tropicais, por Machado *et al.* (2005) e por Machado *et al.* (2002), ambos em povoamentos de *Pinus oocarpa* Schiede submetidos a diferentes regimes de desbaste indicam paridade entre resultados obtidos conforme Tabela 13. Em um estudo efetuado por Araújo *et al.* (2012) em fragmentos de *Pinus sp.* com idades avançadas foram encontradas equações com desempenho da estimativa inferiores aos apresentados na Tabela 13.

De modo geral, o modelo de Stoate (9) foi o de melhor desempenho entre os seis testados, sendo ele selecionado em oito das vinte parcelas, seguido dos modelos de Näslund (10) e Spurr (7), selecionados em sete e três do total das parcelas, respectivamente. Os modelos de Husch linear (12) e Schumacher-Hall linear (8) foram os menos frequentes, ambos selecionados apenas em uma das parcelas.

Alguns dos resíduos, em porcentagem (R%), obtidos na estimativa dos volumes individuais pelos modelos mostrados na Tabela 13 podem ser observados

na Figura 15. No Apêndice 10 podem ser vistos todos os vinte gráficos de resíduos, nos quais estão agrupados por tratamento (densidade de árvores), separados por bloco (sítio) e apresentados em função do diâmetro a 1,3 m do solo (dap), em cm.

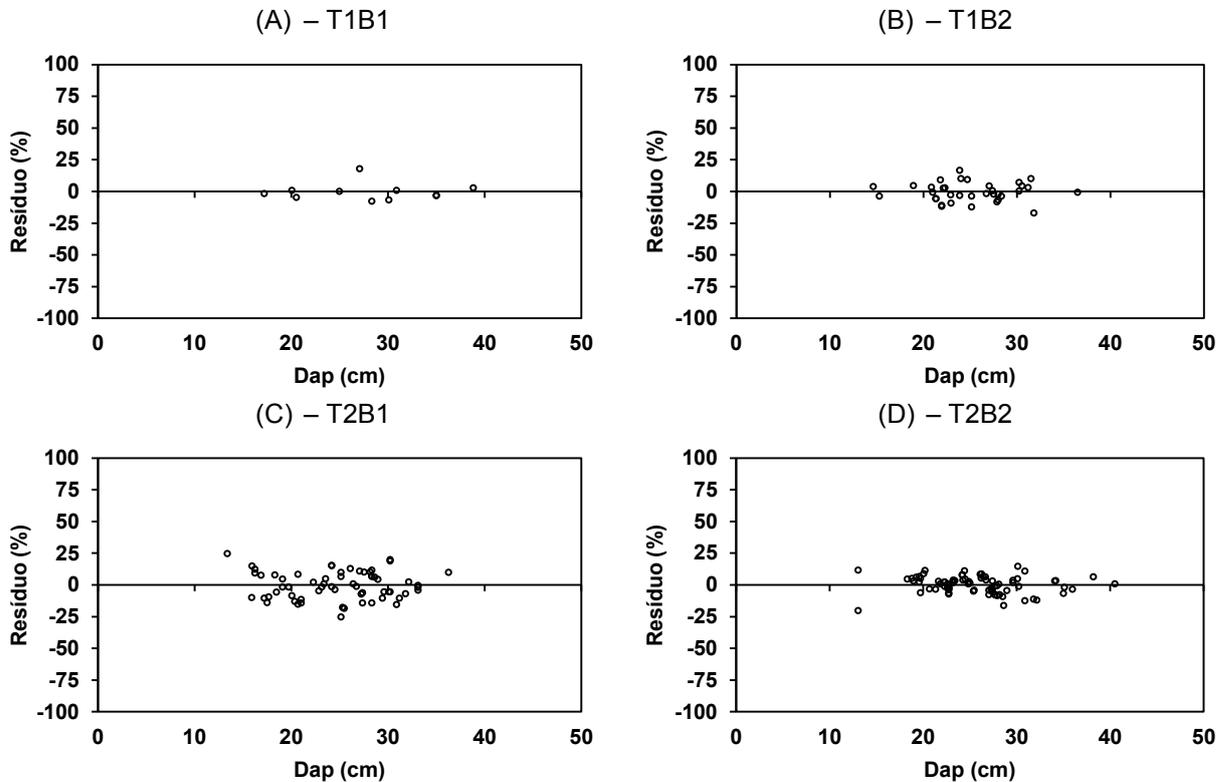


FIGURA 15 – DISPERSÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS DA ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

Essa amostra de quatro gráficos representa os outros dezesseis, os quais mantiveram comportamento semelhante aos da Figura 15. As equações obtidas propiciaram estimativas não tendenciosas dos volumes em relação a uma escala de diâmetro a 1,3 m do solo (dap) de 0 a 50 cm. Os resíduos, em porcentagem (R%), estiveram majoritariamente contidos entre $\pm 25\%$ para as parcelas do experimento.

Apesar de a maioria dos modelos ser de dupla entrada, foi escolhido o dap para ilustrar a dispersão de resíduos, por essa variável ser de maior importância no cálculo do volume.

A ausência de tendenciosidade nas estimativas do volume, ao longo dos diâmetros, é de relevante importância, principalmente ao se tratar de maiores diâmetros, visto que essas são as árvores de maior volume e valor econômico, indicando que as equações recomendadas pela pesquisa são adequadas para tais estimativas.

As linhas de estimativa dos modelos volumétricos apresentados na Tabela 13 podem ser observadas na Figura 16, por bloco (sítio florestal), em função do dap, em cm. Tais representações gráficas refletem também o efeito da altura total das árvores, no caso de modelos de dupla entrada.

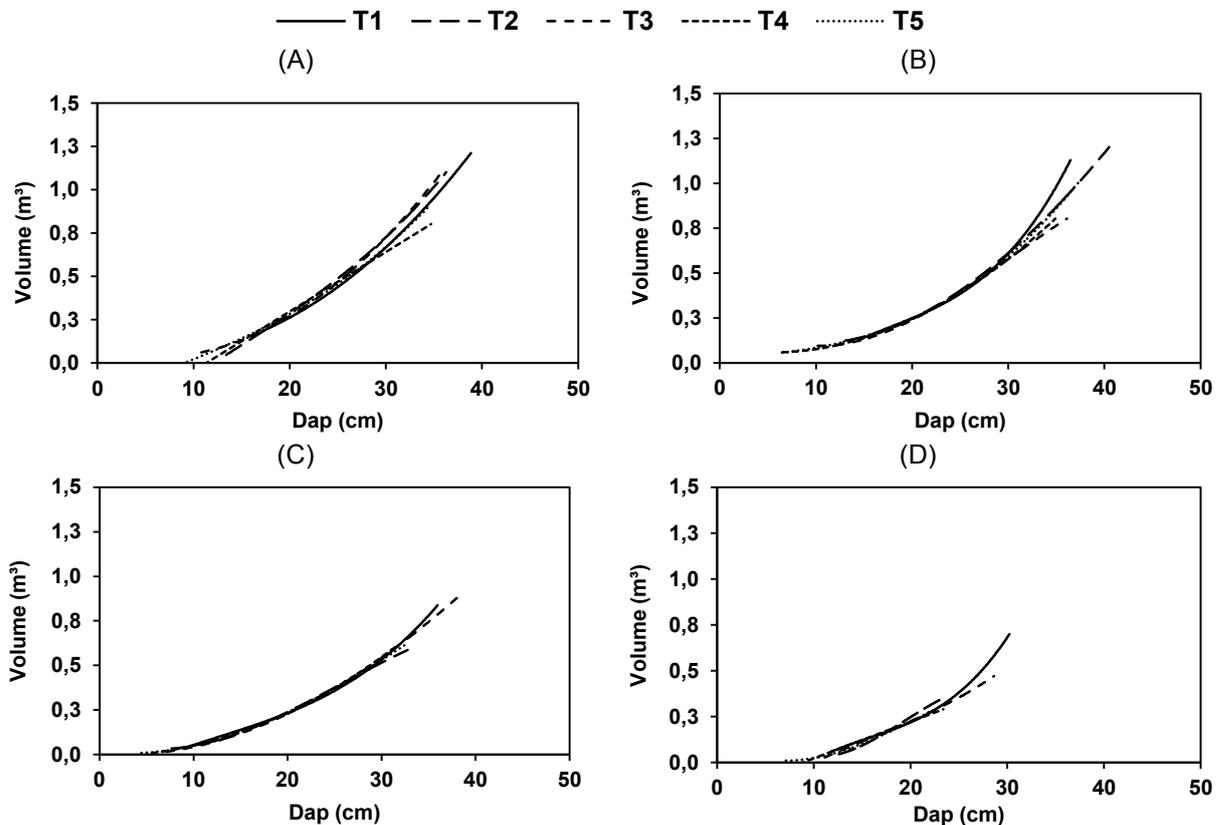


FIGURA 16 – TENDÊNCIAS DAS ESTIMATIVAS DE VOLUME INDIVIDUAL EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO I (A), II (B), III (C) E IV (D) DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

Assim como observado para as estimativas das alturas totais (Figura 14), o comportamento das estimativas para o volume de fuste individual foi semelhante entre os tratamentos, exceto para os maiores diâmetros, no qual foi caracterizado por um maior incremento de volume médio nos tratamentos de maior intensidade de desbaste, o que era esperado.

Ficou evidente a declinação das curvas de estimativa do volume tendendo dos sítios melhores aos piores, indicando que esse fator deve ser adequadamente isolado para modelar o volume de fuste de *Pinus taeda*, em Santa Catarina. A concavidade das curvas do Tratamento 1 mostrou-se ser mais acentuada para todos os sítios, o que confirma o resultado da análise de variância.

A Figura 16 mostra ainda que as árvores com maiores dap são mais volumosas para o Tratamento 1, em comparação aos demais, para os sítios II, III e IV. Não obstante, essa tendência acontece com menor evidência à medida que os tratamentos têm maior peso de desbaste. Tais observações referem-se ao Tratamento 1, no entanto, foi observado, em determinado intervalo, que a linha da estimativa do Tratamento 2 apresentou maiores volumes para um mesmo dap, em relação a do Tratamento 1.

Conforme Tabela 11, em média, os valores de volume e dap decaem de acordo com a qualidade do sítio, razão pela qual houve uma redução dos valores máximos do eixo das abscissas e declinação das curvas tendendo do sítio I ao IV.

3.3 IDENTIDADE DE MODELOS

Com intuito de obter um menor número de equações por bloco (sítio), foi efetuado o teste de identidade entre modelos conforme proposto por Graybill (1976), o qual indicou semelhança entre equações em diferentes tratamentos em mesmo bloco, permitindo o emprego de uma mesma equação para tratamentos agrupados.

Conforme previsto em metodologia, o agrupamento de parcelas foi efetuado com esforço de se obter um valor de F de Graybill não significativo, o que indica aceitação da hipótese inicial (H_0).

A Tabela 14 contém os resultados da análise de variância (ANOVA) para os modelos hipsométricos. Os modelos reduzidos apresentaram coeficientes de ajuste significativos e não significativos pelo teste F de Graybill, a 95% de probabilidade.

Conforme Tabela 14, o erro padrão da estimativa, em porcentagem ($s_{yx}\%$) e o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) tiveram valores próximos àqueles observados nos modelos completos.

TABELA 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE F DE GRAYBILL PARA MODELOS HIPSONÔMTRICOS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELAS AGRUPADAS	MODELO REDUZIDO						F	H_0
	Nº	a_0	a_1	a_2	$s_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$		
T2B1 e T4B1	4	3,45735	-11,19236	-	7,08	0,7399	0,15 ^{ns}	A
T3B1 e T5B1	1	-10,96572	9,56980	-	8,17	0,7310	0,20 ^{ns}	A

continua

									conclusão
T4B2 e T5B2	5	1,37936	0,36594	0,04270	5,37	0,7054	6,25*		R
T1B3 e T4B3	4	3,12802	-7,83159	-	6,59	0,7197	0,18 ^{ns}		A
T2B3, T3B3 e T5B3	5	4,72105	0,04520	0,05588	6,71	0,6891	0,42 ^{ns}		A
T2B4, T3B4 e T5B4	2	18,52752	-90,03837	-	7,47	0,5760	0,03 ^{ns}		A

Letras “T” e “B”, “A” e “R”: tratamento e bloco, aceita-se e rejeitada-se, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; ns e *: não significativo e significativo pelo teste F de Graybill, a 95% de probabilidade, respectivamente; a_i : parâmetros do modelo; $s_{yx}\%$: erro padrão da estimativa, em porcentagem; $R^2_{aj.}$: coeficiente de determinação ajustado.

Conforme Tabela 14, puderam ser agrupados dois pares de parcelas do bloco 1 (sítio I), um par e um trio do bloco 3 (sítio III) e um trio de parcelas do bloco 4 (sítio IV). A rejeição de H_0 , na tentativa de agrupamentos das parcelas T4B2 e T5B2, impediu o uso de um modelo reduzido para modelar conjuntamente a hipsometria de ambas.

A Tabela 15 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA) para os modelos volumétricos. Os modelos volumétricos reduzidos apresentaram coeficientes de ajuste significativos e não significativos pelo teste F de Graybill, a 95% de probabilidade. O erro padrão da estimativa, em porcentagem ($s_{yx}\%$) e o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) tiveram valores próximos àqueles observados nos modelos completos.

TABELA 15 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE F DE GRAYBILL PARA MODELOS VOLUMÉTRICOS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELAS AGRUPADAS	MODELO REDUZIDO								F	H_0
	Nº	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	$s_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$		
T4B1 e T5B1	10	-	0,00085	-0,00005	0,00008	-0,00083	8,83	0,9600	2,53*	R
T1B2, T2B2, T3B2, T4B2 e T5B2	9	0,18111	-0,00059	0,00006	-0,00711	-	8,20	0,9610	11,33*	R
T1B2, T2B2, T3B2 e T4B2	9	0,18008	-0,00060	0,00006	-0,00702	-	8,00	0,9612	1,58 ^{ns}	A
T1B3, T2B3, T3B3, T4B3 e T5B3	10	0,00019	0,00002	-0,00001	0,00023	-	7,01	0,9713	0,15 ^{ns}	A
T2B4 e T3B4	9	-0,21685	0,00073	-0,00001	0,01594	-	7,89	0,9630	0,28 ^{ns}	A
T4B4 e T5B4	7	-0,00597	0,00004	-	-	-	7,20	0,9587	0,20 ^{ns}	A

Letras “T” e “B”, “A” e “R”: tratamento e bloco, aceita e rejeita, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; ns e *: não significativo e significativo pelo teste F de Graybill, a 95% de probabilidade, respectivamente; a_i : parâmetros do modelo; $s_{yx}\%$: erro padrão da estimativa, em porcentagem; $R^2_{aj.}$: coeficiente de determinação ajustado.

Conforme Tabela 15, puderam ser agrupados quatro parcelas do bloco 2 (sítio II). A rejeição de H_0 na tentativa de agrupar os cinco tratamentos do bloco 2 (sítio II) derivou na tentativa de outras combinações, em que foi possível obter aceitação de H_0 ao retirar a parcela T5B2 das demais. No bloco 3 (sítio III) foi possível agrupar as cinco parcelas e no bloco 4 (sítio IV) resultou em dois pares de parcelas combinadas.

O teste de identidade de modelos propiciou a redução do número de equações hipsométricas e volumétricas aplicadas às parcelas experimentais, as quais podem ser vistas conjuntamente na Tabela 16.

TABELA 16 – RESUMO DE EQUAÇÕES HIPSONOMÉTRICAS E VOLUMÉTRICAS APLICADAS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	MODELO	EQUAÇÃO
T1B1	Stoffles	$\ln(h) = 1,59831 + 0,42563.\ln(dap) + \varepsilon$
	Husch	$\ln(v_i) = -8,26487 + 2,31091.\ln(dap) + \varepsilon$
T2B1	Curtis	$\ln(h) = 3,45735 - 11.19236.\left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon$
	Stoate	$v_i = -0,24112 + 0,00054.dap^2 + 0,00001.dap^2.h + 0,01284.h + \varepsilon$
T3B1	Henricksen	$h = -10,96572 + 9,56980.\ln(dap) + \varepsilon$
	Spurr	$v_i = 0,01355 + 0,00004.dap^2.h + \varepsilon$
T4B1	Curtis	$\ln(h) = 3,45735 - 11.19236.\left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon$
	Näslund	$v_i = 0,00085.dap^2 - 0,00005.dap^2.h + 0,00008.dap.h^2 - 0,00083.h^2 + \varepsilon$
T5B1	Henricksen	$h = -10,96572 + 9,56980.\ln(dap) + \varepsilon$
	Näslund	$v_i = 0,00085.dap^2 - 0,00005.dap^2.h + 0,00008.dap.h^2 - 0,00083.h^2 + \varepsilon$
T1B2	Stoffles	$\ln(h) = 1,99445 + 0,28309.\ln(dap) + \varepsilon$
	Stoate	$v_i = 0,18008 - 0,00060.dap^2 + 0,00006.dap^2.h - 0,00702.h + \varepsilon$
T2B2	Trorey	$h = 6,69073 + 0,66881.dap - 0,00813.dap^2 + \varepsilon$
	Stoate	$v_i = 0,18008 - 0,00060.dap^2 + 0,00006.dap^2.h - 0,00702.h + \varepsilon$
T3B2	Curtis	$\ln(h) = 3,19056 - 7,58674.\left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon$
	Stoate	$v_i = 0,18008 - 0,00060.dap^2 + 0,00006.dap^2.h - 0,00702.h + \varepsilon$
T4B2	Näslund	$h = \frac{dap^2}{1,37936 + 0,36594.dap + 0,04270.dap^2} + 1,3 + \varepsilon$
	Stoate	$v_i = 0,18008 - 0,00060.dap^2 + 0,00006.dap^2.h - 0,00702.h + \varepsilon$
T5B2	Näslund	$h = \frac{dap^2}{1,37936 + 0,36594.dap + 0,04270.dap^2} + 1,3 + \varepsilon$

continua

		conclusão
	Stoate	$v_i = -0,00042 - 0,00007.dap^2 - 0,00003.dap^2.h + 0,00058.h + \varepsilon$
T1B3	Curtis	$\ln(h) = 3,12802 - 7,83159.\left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon$
	Näslund	$v_i = 0,00019.dap^2 + 0,00002.dap^2.h - 0,00001.dap.h^2 + 0,00023.h^2 + \varepsilon$
T2B3	Näslund	$h = \frac{dap^2}{4,72105 + 0,04520.dap + 0,05588.dap^2} + 1,3 + \varepsilon$
	Näslund	$v_i = 0,00019.dap^2 + 0,00002.dap^2.h - 0,00001.dap.h^2 + 0,00023.h^2 + \varepsilon$
T3B3	Näslund	$h = \frac{dap^2}{4,72105 + 0,04520.dap + 0,05588.dap^2} + 1,3 + \varepsilon$
	Näslund	$v_i = 0,00019.dap^2 + 0,00002.dap^2.h - 0,00001.dap.h^2 + 0,00023.h^2 + \varepsilon$
T4B3	Curtis	$\ln(h) = 3,12802 - 7,83159.\left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon$
	Näslund	$v_i = 0,00019.dap^2 + 0,00002.dap^2.h - 0,00001.dap.h^2 + 0,00023.h^2 + \varepsilon$
T5B3	Näslund	$h = \frac{dap^2}{4,72105 + 0,04520.dap + 0,05588.dap^2} + 1,3 + \varepsilon$
	Näslund	$v_i = 0,00019.dap^2 + 0,00002.dap^2.h - 0,00001.dap.h^2 + 0,00023.h^2 + \varepsilon$
T1B4	Henricksen	$h = -1,45876 + 5,16679.\ln(dap) + \varepsilon$
	Schumacher-Hall	$\ln(v_i) = -10,01321 + 2,18683.\ln(dap) + 0,73158.\ln(h) + \varepsilon$
T2B4	Assmann	$h = 18,52752 - 90,03837.\left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon$
	Stoate	$v_i = -0,30639 + 0,00102.dap^2 - 0,0002.dap^2.h + 0,01957.h + \varepsilon$
T3B4	Assmann	$h = 18,52752 - 90,03837.\left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon$
	Stoate	$v_i = -0,13060 + 0,00061.dap^2 - 4,99E-06.dap^2.h + 0,00978.h + \varepsilon$
T4B4	Trorey	$h = -0,42816 + 1,22575.dap - 0,02472.dap^2 + \varepsilon$
	Spurr	$v_i = -0,00597 + 0,00004.dap^2.h + \varepsilon$
T5B4	Assmann	$h = 18,52752 - 90,03837.\left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon$
	Spurr	$v_i = -0,00597 + 0,00004.dap^2.h + \varepsilon$

Letras "T" e "B": tratamento e bloco, respectivamente; v_i : volume de fuste individual, em m^3 ; dap: diâmetro a 1,3 m do solo, em cm. h: altura total, em m; ln: logaritmo neperiano; e ε : erro aleatório.

4 CONCLUSÕES

A mensuração em parcelas experimentais de *Pinus taeda*, no estado de Santa Catarina, feita aos 12 anos de idade, correspondente a um tempo médio de 3,5 anos pós-desbastes, foi satisfatória para concluir que:

Não apenas a altura total média pode ser afetada pelo sítio florestal. Além dessa variável, ele influencia significativamente no crescimento em área basal, diâmetro e volume de fuste das árvores.

Os desbastes também influenciam nas variáveis analisadas, sendo que as variáveis área basal e altura total são as mais sensíveis aos regimes de desbaste, seguido do diâmetro e, por fim, o volume de fuste.

Apesar de ser constatado na literatura florestal o efeito do desbaste no fator de forma das árvores, ele não foi detectado em um intervalo de 3,5 anos após terem sido efetuados aos tratamentos, ou seja, esse tempo é insuficiente para notar mudanças na forma das árvores submetidas a diferentes desbastes.

As curvas de estimativas da relação hipsométrica e volumétrica tendem a reduzir a inclinação ao comparar sítios bons em relação aos sítios inferiores. Aparentemente as curvas hipsométricas não apresentam diferenças relevantes em função dos desbastes, ao contrário das volumétricas, nas quais existe uma distinção delas para as árvores mais grossas.

Entre os modelos hipsométricos e volumétricos testados, quase todos eles foram selecionados em alguma parcela do experimento, o que mostra a existência de diferença matemática entre as relações dendrométricas, quando submetidas em diferentes sítios e regimes de desbaste. Entretanto, o número de modelos selecionados pode ser reduzido, de acordo com o teste F de Graybill.

5 RECOMENDAÇÕES

A pesquisa permitiu recomendar a necessidade de se conhecer os sítios florestais, visto que o crescimento das árvores é diferenciado entre sítios bons e ruins, onde são cabíveis tomadas de decisão de acordo com o potencial produtivo.

Apesar dos desbastes mais pesados favorecerem o crescimento em diâmetro e volume das árvores, é importante efetuar uma análise de viabilidade econômica em cada regime de desbaste.

Considerando as condições de sítios florestais, espaçamento de plantio e período de intervenção florestal, aos produtores que objetivam produzir toras grossas, recomenda-se o desbaste misto com retirada de uma a cada cinco linhas de plantio, acrescido de um desbaste por baixo com retirada de 66% de remanescentes.

REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012/ ABRAF. – Brasília, 2013, 148p.

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; MIRANDA, R. O. V.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S. Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de pinus, em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 355–366, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/425>>. Acesso em: 29/9/2013.

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 257–268, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/397>>. Acesso em: 29/9/2013.

ASSMANN, E. **Waldetragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgessellschaft, 1961. 435p.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Revista Floresta**, v. 32, n. 2, p. 189-204, 2002. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/floresta/article/view/2285>>. Acesso em: 29/10/2013.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sitio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 517–533, 2004.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002. Disponível em: <<http://cascavel.cpd.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1682>>. Acesso em: 21/10/2013.

DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHER, R. Relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. **Ciência Rural**, v. 40, n. 12, p. 1.499–2.504, 2010.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 79–87, 1999. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/368>>. Acesso em: 21/10/2013.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Determinação de regimes de desbaste para povoamentos de *Pinus elliottii* E. do Planalto Ocidental no estado de Santa Catarina. **Ciência Florestal**, v. 4, n. 1, 1994. Disponível em: <<http://cascavel.cpd.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/297>>. Acesso em: 19/10/2013.

GOMES, F. DOS S.; MAESTRI, R. 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, n. 1, p. 101-126, 1997. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/342>>. Acesso em: 22/10/2013.

GRAYBILL, F. A. **Theory and Application of the Linear Model**. Belmont: Duxbury Press, 1976. 704p.

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

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**, v. 30, n. 4, p. 603–612, 2006.

MACHADO, S. A.; BARTOSZECK, A. C. P. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Efeito da densidade e do sítio sobre as curvas de distribuição diamétrica em Bracatingais Nativos (*Mimosa scabrella* Benth.) da região metropolitana de Curitiba Density and site effects on diameter distribution curves of native. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 37-50, 2008. Disponível em: <<http://web01.unicentro.br/revistas/index.php/ambiencia/article/view/287>>. Acesso em: 22/10/2013.

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**, v. 4, n. 2, p. 185–197, 2002.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbastes. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 50, p. 81-98, 2005. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/242>>. Acesso em: 23/10/2013.

MAINARDI, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Produção de *Pinus taeda* L. na região de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 39-52, 1996. Disponível em: <<http://cascavel.cpd.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/324>>. Acesso em: 21/10/2013.

NOGUEIRA, G. S., LEITE, H. G., CAMPOS, J. C. C., SOUZA, A. L., COUTO, L. Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 51-59, 2001.

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**, v. 32, n. 5, p. 855-860, 2008.

PELLISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para pinus tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 67, p. 173-181, 2011. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/270>>. Acesso em: 21/11/2013.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Revista Floresta**, v. 38, n. 2, p. 339–349, 2008.

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

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª edição, Santa Maria, FACOS-UFSM, 2008, 566p.

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

SOARES, T. S.; SCOLFORO, J. R. S.; FERREIRA, S. O.; MELLO, J. M. DE. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 845–854, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n6/23985.pdf>>. .

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; MENEZES, L. F. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, p. 377-387, 2007. Disponível em: <<http://cascavel.cpd.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1969>>. Acesso em: 21/10/2013.

CAPÍTULO III

OTIMIZAÇÃO DA RECEITA E DO VOLUME EM REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* L. NO SUL DO BRASIL

RESUMO

O elevado número de variáveis da produção florestal converge em problemas complexos, e por isso, as tomadas de decisão no manejo não são tarefas fáceis. O objetivo deste trabalho foi simular regimes de manejo e selecionar os ótimos, visando à maximização de VPLA e volume de madeira, para quatro sítios distintos. Foi utilizado o *software* OpTimber para otimização de problemas florestais. Foram combinados quatro espaçamentos de plantio, além de desbastes efetuados com diferentes pesos, frequências, tipos e idades de aplicação, bem como doze idades para corte raso. Essas combinações totalizaram em 17.760 possibilidades por sítio. Depois das simulações, a produção em madeira foi quantificada e valorada, mediante classes de sortimento de toras. O custo de produção também foi considerado e, assim, foram calculados VPL, VPLA e TIR para todos os regimes de manejo. Como resultado, foi constatado que plantios com 1.600 e 2.500 plantas por hectare são os melhores para maximizar o VPLA e o volume, respectivamente. No melhor sítio, o máximo VPLA é alcançado aos 13 anos, ao passo que no pior, aos 22 anos. Os melhores sítios e as maiores densidades de plantio demandam de um maior número de desbastes. O objetivo de maximizar volume demanda de menos desbastes ao comparar com a maximização do VPLA. Foi constatado que práticas de manejo inadequadas podem reduzir consideravelmente a produtividade dos povoamentos a ponto de torná-los inviáveis economicamente.

Palavras-chave: Manejo florestal. Sítio florestal. Otimização. Valor Presente Líquido Anualizado. Volume de madeira.

CHAPTER III

MANAGEMENT REGIMES INCOME AND VOLUME OPTIMIZATION OF *Pinus taeda* L. IN SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT

The large number of forest production variables leads to complex problems, and this complicates the decision making in management. The aim of this research was to simulate management regimes and select the optimal aimed at maximizing ANPV and timber volume, for four forest sites. It was used the software OpTimber to optimization of forest problems. Four densities plants were combined, besides thinnings made with differences on weights, frequencies, type and ages application. Also twelve ages of clearcutting were considered. These combinations totaled 17,760 regimes per site. After simulations were made, the timber production was quantified and valued by logs assortment. The production cost also was considered and thus NPV, NPVA and IRR were calculated for all management regimes. As results, it was verified that regimes with densities plants equal to 1,600 and 2,500 per hectare are the best options to maximize the NPVA and timber volume, respectively. In the richest site, the NPVA is obtained at 13 years, and in the poorest site at 22 years old. As well as in the best sites, denser plantings need more thinning. The objective of maximization of the volume demands less thinning in comparison with the maximization of the NPVA. It was verified that wrong practices can make a forest investment economically unviable.

Keywords: Timber management. Forest site. Optimization. Annualized net present value. Timber volume.

1 INTRODUÇÃO

A arte de manejar florestas vem decorrendo por centenas de anos. Os indícios pioneiros de plantações florestais são datados do século V, em que, durante o Império Bizantino, monges habitantes da costa do Mar Adriático depararam-se com a necessidade de produzir lenha e alimentos, instigando-os a constituírem os primeiros plantios de pinus do mundo (MIROV; HASBROUCK, 1976).

Certamente naquela época essas florestas eram manejadas com pouco conhecimento das boas práticas do manejo, visto que ali apenas nascia a ciência em produzir árvores.

Em um horizonte contemporâneo, essa ciência avançou de tal forma que o número de variáveis consideradas em regimes de manejo seja grande o suficiente para gerar problemas humanamente impossíveis de serem resolvidos. Felizmente, com os avanços tecnológicos e científicos atuais, muitas vezes é possível obter soluções ótimas, ou quase ótimas, resolvidas matematicamente com o auxílio de sistemas computacionais.

Nesse escopo, o uso de algoritmos em problemas de programação linear (PL) e inteira (PLI), não-linear (PNL) e dinâmica (PD) atua como uma ferramenta poderosa no processo de otimização de funções objetivo via inteligência artificial, em que essas aplicações são observadas na literatura florestal, conforme Fernandes *et al.* (2013), Gomide *et al.* (2010), Mello *et al.* (2005), Arce *et al.* (2004), Palahí e Pukkala (2003), Soares *et al.* (2003), Arce *et al.* (1999), dentre outros.

Em problemas florestais, em especial aos encontrados no manejo de povoamentos visando à produção madeireira, algumas decisões são tomadas com base em resultados de análises técnico-científicas, ou, caso contrário, baseadas em conhecimentos empíricos do manejador. Porém, geralmente os cenários observados em boa parte dessas situações engloba um número de variáveis cujas interações convergem para um enigma complexo.

Ao manejador florestal que inicia um cultivo de árvores, cabe como sua primeira decisão definir o número de mudas por unidade de área. No sul do Brasil, em cultivos de espécies de *Pinus* spp., por exemplo, é comum o emprego de 1.111 até 2.500 plantas por ha.

Com o crescimento da floresta, surge a necessidade de realizar podas e reduzir a competição entre árvores. A determinação de como, quanto e quando retirar árvores define o regime de desbaste e, por fim, o período de quando cortar raso a floresta deve ser técnico ou economicamente viável, conforme seu crescimento e estoque (SILVA *et al.*, 2008).

As combinações dessas e outras variáveis geram “n” possibilidades que representam, como um todo, os possíveis regimes de manejo florestal, os quais apresentarão crescimento e produção distintos entre eles, uma vez comparados em tratamentos silviculturais (PUKKALA; MIINA, 2013; PALAHÍ; PUKKALA, 2003; SOALLEIRO *et al.*, 2000).

Diante disso, este estudo foi conduzido almejando encontrar, por meio de processos iterativos em pesquisa operacional, as melhores práticas de manejo florestal, bem como o regime ótimo de manejo, tendo em vista a maximização da receita e do volume obtidos na colheita de toras por classes de sortimento.

Para tal, foram simulados 336 regimes factíveis de manejo de *Pinus taeda* L., constituídos por combinações entre quatro espaçamentos de plantio, três tipos de desbaste, podendo ser aplicados em três ordens ainda combinadas, bem como quatro idades de corte raso. A prognose para os cenários foi gerada para até 25 anos, idade limite a ser efetuado o corte raso.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito das práticas de manejo e alcançar um regime de manejo florestal ótimo, visando à maximização da receita e do volume por sortimento de toras, em povoamentos de *Pinus taeda* L.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Simular regimes de manejo com combinações entre: espaçamentos de plantio de 2,0 x 2,0 m, 2,0 x 2,5 m, 2,5 x 2,5 m e 3,0 x 3,0 m; desbastes mistos e por baixo, com retirada sistemática de quinta linha de plantio e seleção de 30%, 45% e 60% das árvores, efetuados entre 7 e 9 anos, 13 e 15 anos e 18 e 20 anos; e corte raso entre 12 e 15 anos, 17 e 20 anos e 22 e 25 anos.
- Estimar a produção em volume de toras, além de valorá-las mediante classes de sortimentos pré-estabelecidas. A partir disso, avaliar o efeito das práticas de manejo com a produção e receita do volume de madeira.
- Selecionar o regime de manejo ótimo, visando à maximização da receita da produção de toras classificadas em sortimento pré-estabelecido.
- Selecionar o regime de manejo ótimo com corte raso aos 15, 20 e 25 anos, visando à maximização da produção em volume de toras classificadas em sortimento pré-estabelecido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para efetuar a presente pesquisa foi utilizado concomitantemente o *software* OpTimber-LP[®] da empresa OpTimber Otimização e Informática Ltda. Ele tem vinculado em seu sistema interno os *softwares* SisPinus[®], simulador de prognose de *Pinus* spp. no Sul do Brasil, desenvolvido pela Embrapa Florestas (OLIVEIRA, 1995) e o LINGO[®] para otimização de problemas de programação linear e não-linear, desenvolvido pela empresa *LINDO Systems* INC.

2.1 TRATAMENTOS SILVICULTURAIS

Foram simulados regimes de manejo distintos em tratamentos silviculturais, incluindo espaçamento de plantio, regime de desbaste, além de idade de corte raso:

- Espaçamento de plantio

Foram adotados espaçamentos de plantio comumente empregados no cultivo de *Pinus taeda* no sul do Brasil, conforme Tabela 17.

TABELA 17 – ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO EMPREGADOS PARA SIMULAÇÃO DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda*.

ESPAÇAMENTO	DENSIDADE (ÁRVES./HECTARE)
2,0 x 2,0 m	2.500
2,5 x 2,0 m	2.000
2,5 x 2,5 m	1.600
3,0 x 3,0 m	1.111

- Desbaste

Os regimes de manejo foram simulados com ou sem aplicação de desbastes. Para aqueles que tiveram aplicação, os desbastes variaram em número

de aplicações, ou seja, os regimes de manejos tiveram um, dois ou três desbastes, os quais puderam ser feitos entre os períodos de 7 a 9 anos, 13 a 15 anos e 18 a 20 anos de idade dos povoamentos.

Nos regimes de manejo em que foram aplicados mais de um desbaste, o primeiro foi misto, conciliando sistemático e por baixo e, os demais foram por baixo (desbaste alemão). A sistematização correspondeu à retirada de uma a cada cinco linhas de plantio e o desbaste por baixo pôde ser com 30%, 45% ou 60% de remoção das árvores, o que corresponde a 70%, 55% e 40% de remanescentes, respectivamente.

Com isso, os regimes de desbaste foram simulados considerando todas as combinações quanto ao número de aplicações (de 0 a 3), período (de 7 a 9 anos, 13 a 15 anos e 18 a 20 anos), tipo (misto ou por baixo) e ainda a intensidade (com ou sem quinta linha, com 40%, 55% ou 70% de árvores remanescentes).

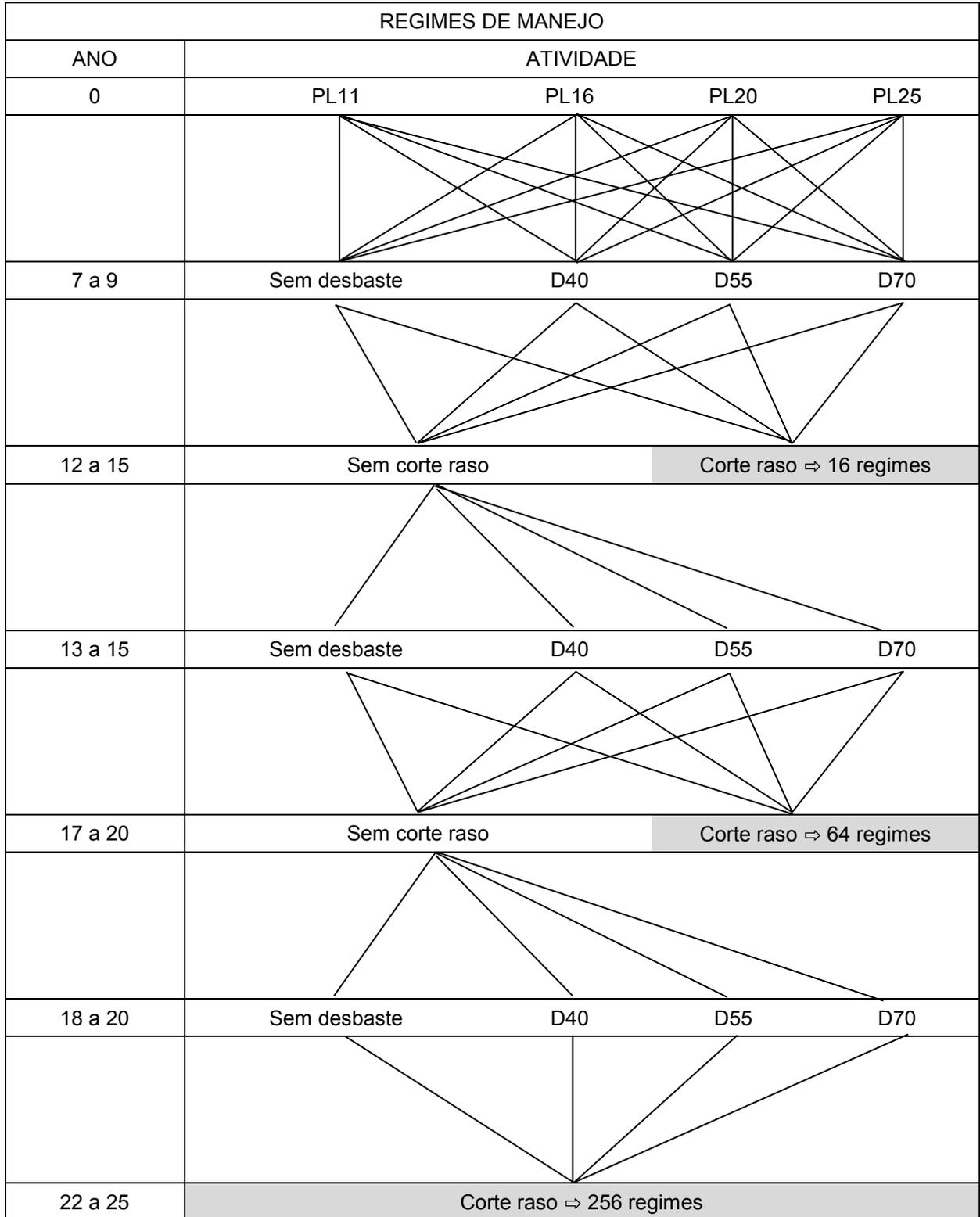
- Corte raso

As idades adotadas para rotação (corte raso) foram de 12 a 15 anos, 17 a 20 anos e 22 a 25 anos. Os regimes de manejo submetidos a desbaste(s) em idades que ocorreria após o corte raso são inactíveis, portanto foram apagados do sistema.

O total de regimes de manejo gerados considerando os tratamentos silviculturais pode ser obtido com a multiplicação do número de variáveis observadas para o espaçamento de plantio, corte raso e combinações de desbaste (Tabela 18). O arranjo de combinações dos regimes de manejo factíveis está apresentado no Quadro 1 e uma tabela descritiva pode ser vista no Apêndice 11.

TABELA 18 – QUANTIFICAÇÃO DE TRATAMENTOS SILVICULTURAIS E COMBINAÇÃO PARA OS REGIMES DE MANEJO.

ESPAÇAMENTO	CORTE RASO	DESBASTE		REGIMES DE MANEJO		
		QUANTIDADE	COMBINAÇÕES	TOTAL	INACTÍVEL	FACTÍVEL
4	3	0	1	12	0	12
4	3	1	9	108	36	72
4	3	2	27	324	180	144
4	3	3	27	324	216	108
Total				768	432	336



QUADRO 1 – ORGANOGRAMA LINEAR DE RESPONSABILIDADE PARA REGIMES FACTÍVEIS DE MANEJO.

PL11, PL16, PL20 e PL25: Plantio de 1.111, 1.600, 2.000 e 2.500 plantas/ha, respectivamente; D40, D55 e D70: Desbaste por baixo com remoção de 40%, 55% e 70% de árvores remanescentes, respectivamente. Obs.: o primeiro desbaste sempre é misto, com sistematização de retirada de uma linha de plantio a cada cinco, conciliado ao desbaste por baixo.

Conforme Quadro 1, viabilizaram-se 16 regimes de manejo com corte raso entre 12 e 15 anos, 64 entre 17 e 20 anos e 256 entre 22 e 25 anos, o que totaliza em 336 regimes factíveis. Porém, como o desbaste e o corte raso podem ser realizados em certo intervalo de tempo, cada regime gera recombinações em função do ano correspondente às atividades.

Por exemplo, um desbaste entre 7 e 9 anos pode ser efetuado aos 7, 8 ou 9 anos, da mesma forma o corte raso. Assim, um regime de manejo composto por dois desbastes, sendo um deles entre 7 e 9 anos e o segundo entre 18 e 20 anos, e o corte raso entre 22 e 25 anos, sua recombinação sucede em 36 possibilidades para esse regime e, considerando os 336, o total correspondeu a 17.760 possibilidades.

Os regimes de manejo ainda foram simulados para quatro sítios florestais, conforme efetuado no Capítulo I. A equação $h_{dom} = \frac{l^2}{1,58181 + 0,15327.l + 0,03138.l^2}$ foi obtida no ajuste de pares de dados de altura dominante (h_{dom}), em m e idade (l), em anos, em povoamentos de *Pinus taeda* L., nos estados do Paraná e Santa Catarina.

Com isso, foram gerados quatro sítios florestais, com idade de referência de 15 anos, cujos índices de sítio (IS) equivaleram às alturas dominantes (h_{dom}):

- a) IS I – h_{dom} equivalente a 27,8 m;
- b) IS II – h_{dom} equivalente a 23,3 m;
- c) IS III – h_{dom} equivalente a 18,8 m;
- d) IS IV – h_{dom} equivalente a 14,3 m;

Portanto, o procedimento de otimização foi repetido para esses quatro sítios em questão, logo, foram simulados 71.040 possibilidades de regimes de manejo, a fim de obter a resposta do melhor a ser adotado em cada sítio florestal.

2.2 SORTIMENTO E VALORAÇÃO DE TORAS

A partir da prognose estimada em cada regime de manejo foram calculados volumes de fuste individual obtidos no corte raso e, nos regimes submetidos a desbaste(s), esse volume também foi considerado no cálculo. As toras produzidas

nos diversos cenários foram classificadas em sortimentos, que por sua vez foram valoradas conforme Tabela 19.

TABELA 19 – DESCRIÇÃO DE DIMENSÕES E PREÇO DE TORAS POR SORTIMENTOS.

SORTIMENTO	USO	PREÇO (R\$/m³)	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO (cm)	
				MÍNIMO	MÁXIMO
S1*	Laminação	141,4	2,5	35,1	-
S2*	Serraria 3	129,6	2,5	25,1	35,0
S3*	Serraria 2	100,9	2,5	18,1	25,0
S4*	Serraria 1	70,4	2,4	8,1	18,0
S5**	Resíduo	8,0	1,0	5,0	8,0

FONTE: *SEAB (2013) e **Brasil Florestal Engenharia de Projetos (2013).

As dimensões e os preços dos sortimentos S1, S2, S3 e S4 foram adotados conforme SEAB (2013) e do sortimento S5 conforme pesquisa de mercado realizada pela empresa Brasil Florestal Engenharia de Projetos, no ano de 2013. Os preços correspondem aos produtos postos na indústria.

2.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

2.3.1 Métodos avaliativos

Foram empregados métodos de avaliação econômica que consideram a variação do capital no tempo, visto que os regimes de manejo variam em função do tempo e a descapitalização é elementar quando se deseja compará-los (SILVA *et al.*, 2008). Os métodos calculados foram:

- Valor Presente Líquido (VPL)

Conforme Silva *et al.* (2008), o VPL corresponde à diferença entre o valor presente das receitas e o valor presente dos custos, cuja notação matemática é dada por:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j \cdot (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j \cdot (1+i)^{-j} \quad (1)$$

Em que:

R_j = valor atual das receitas;

C_j = valor atual dos custos;

i = taxa anual de juros;

j = ano em que as receitas ou custos ocorrem; e

n = número de períodos ou duração do projeto, em anos.

Esse método deve ser interpretado como melhor o investimento que retornar ao maior VPL. Por lógica, se o VPL for positivo, o projeto é economicamente viável. O valor reflete a dimensão do fluxo de caixa em função do tempo e não indica noção de taxa de retorno do investimento. Este método foi calculado como preâmbulo de cálculo do Valor Presente Líquido Anualizado.

- Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA)

Segundo Dossa *et al.* (2000), o Valor Presente Líquido Anualizado, Valor Uniforme Líquido ou Valor Anual Uniforme Equivalente é empregado em projetos de médio e longo prazo, como o cultivo de culturas perenes. O VPLA transforma o VPL de um fluxo de caixa em uma série anual uniforme. Este método foi calculado e inserido na função objetivo. Sua notação matemática é dada por:

$$VPLA = VPL \cdot \left[\frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (2)$$

Em que:

VPL = valor presente líquido;

i = taxa anual de juros; e

n = número de períodos ou duração do projeto, em anos.

- Taxa Interna de Retorno (TIR)

Conforme Silva *et al.* (2008), a TIR reflete a taxa de retorno do investimento, ou mesmo a taxa de desconto obtida quando o valor presente das receitas é igual ao valor presente dos custos, logo, quando o VPL é igual a “0”. A notação matemática é dada por:

$$\sum_{j=0}^n R_j \cdot (1+i)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j \cdot (1+i)^{-j} \quad (3)$$

Em que:

R_j = valor atual das receitas;

C_j = valor atual dos custos;

i = taxa anual de juros;

j = ano em que as receitas ou custos ocorrem; e

n = número de períodos ou duração do projeto, em anos.

Silva *et al.* (2008) ainda explicam que o valor da TIR normalmente é obtido apenas uma vez, como em projetos convencionais. Contudo, naqueles não-convencionais, pode ser encontrada mais de uma TIR, sendo que nesses casos a taxa escolhida deve ser a mais coerente, real e positiva.

A TIR pode ser comparada à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), em que projetos cuja TIR é maior que a TMA são considerados economicamente viáveis. Ao contrário do VPL, esse método reflete a rentabilidade de um investimento, não considerando a dimensão do capital investido. A TIR foi calculada para os regimes de manejo selecionados na pesquisa operacional.

2.3.2 Taxa de juros

Para o cálculo do VPL e VPLA deve ser empregada uma taxa de juros que corresponde à variação monetária de um período “ n ” ao “ $n+1$ ”, em outras palavras,

os juros são a remuneração pelo uso do capital, nos quais sofrem variações conforme a circunstância econômica nacional ou de alguma atividade produtiva (SILVA *et al.*, 2008).

Foi adotada uma taxa de juros média, tendo como base o corrente ano de 2013, relativa ao Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC), cujo valor correspondeu a 8,0% ao ano.

2.3.3 Custos de implantação

Foi empregada uma tabela de custos médios de implantação de pinus no Sul do Brasil. A pesquisa foi feita pela Empresa Brasil Florestal, no ano corrente de 2013, em que foram consultadas empresas florestais paranaenses e catarinenses que produzem florestas de *Pinus* spp. Os custos por atividade podem ser observados na Tabela 20.

TABELA 20 – CUSTOS DE ATIVIDADES SILVICULTURAIS DE *Pinus taeda* NO ANO DE 2013.

ATIVIDADE	ANO DE OCORRÊNCIA	CUSTO*
Plantio (1.111 mudas/ha)	0	R\$ 1.609,4/ha
Plantio (1.600 mudas/ha)	0	R\$ 1.994,5/ha
Plantio (2.000 mudas/ha)	0	R\$ 2.309,5/ha
Plantio (2.500 mudas/ha)	0	R\$ 2.703,3/ha
1º Desbaste		
5ª linha + 30% por baixo	7-9 / 13-15 / 18-20	R\$ 34,0/m³
5ª linha + 45% por baixo	7-9 / 13-15 / 18-20	R\$ 34,0/m³
5ª linha + 60% por baixo	7-9 / 13-15 / 18-20	R\$ 34,0/m³
2º Desbaste		
30% por baixo	13-15 / 18-20	R\$ 29,0/m³
45% por baixo	13-15 / 18-20	R\$ 29,0/m³
60% por baixo	13-15 / 18-20	R\$ 29,0/m³
3º Desbaste		
30% por baixo	18-20	R\$ 26,5/m³
45% por baixo	18-20	R\$ 26,5/m³
60% por baixo	18-20	R\$ 26,5/m³
Corte raso	12-15 / 17-20 / 22-25	R\$ 23,0/m³

FONTE: *Brasil Florestal Engenharia de Projetos.

Os custos de plantio foram calculados somando os dispêndios da aplicação manual de herbicida pré e pós-plantio, controle de formiga pré e pós-plantio, plantio propriamente dito e replantio. Em relação aos custos de desbaste e de corte raso, foram considerados os dispêndios de colheita e carregamento mecanizados.

2.4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Para melhor entendimento da pesquisa, os resultados foram mostrados em tabelas e figuras, separando-os por sítio e espaçamento de plantio (1.111, 1.600, 2.000 e 2.500 plantas por hectare), devido ao elevado número de regimes de manejo.

Os resultados da maximização do VPLA podem e foram comparados entre os regimes com diferentes idades de corte raso (tempo de manejo), visto que esse valor corresponde a um cálculo de série anualizada.

Porém, para os resultados da seleção de regime visando à maximização do volume de madeira, a comparação foi feita entre aqueles cujos tempos de manejo equivaleram a 15, 20 e 25 anos. Assim a análise dos resultados torna-se adequada devido à compatibilidade em função do tempo.

Também foram considerados outros aspectos pertinentes ao manejo de *Pinus* spp., pois os regimes simulados representam situações hipotéticas livres de condições adversas, como ocorrência de incêndios e ataque de pragas e doenças.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MAXIMIZAÇÃO DO VPLA

As simulações de produção dos 71.040 regimes de manejo, bem como o cálculo de seus custos e receitas possibilitaram a estimativa do Valor Presente Líquido (VPL) de cada regime. Por meio dessa, foram calculados o Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

Os gráficos de dispersão mostrados a seguir têm o eixo das ordenadas representado pelo VPLA, em R\$/ha e o das abscissas pelo tempo de manejo, ou seja, idade de corte raso, em anos. Os marcadores possuem tamanhos crescentes para discriminar regimes de manejo sem e com 1, 2 ou 3 desbastes.

Na Figura 17 estão apresentados os regimes de manejo em sítio I ($h_{dom} = 27,8$ m), separados por espaçamento de plantio.

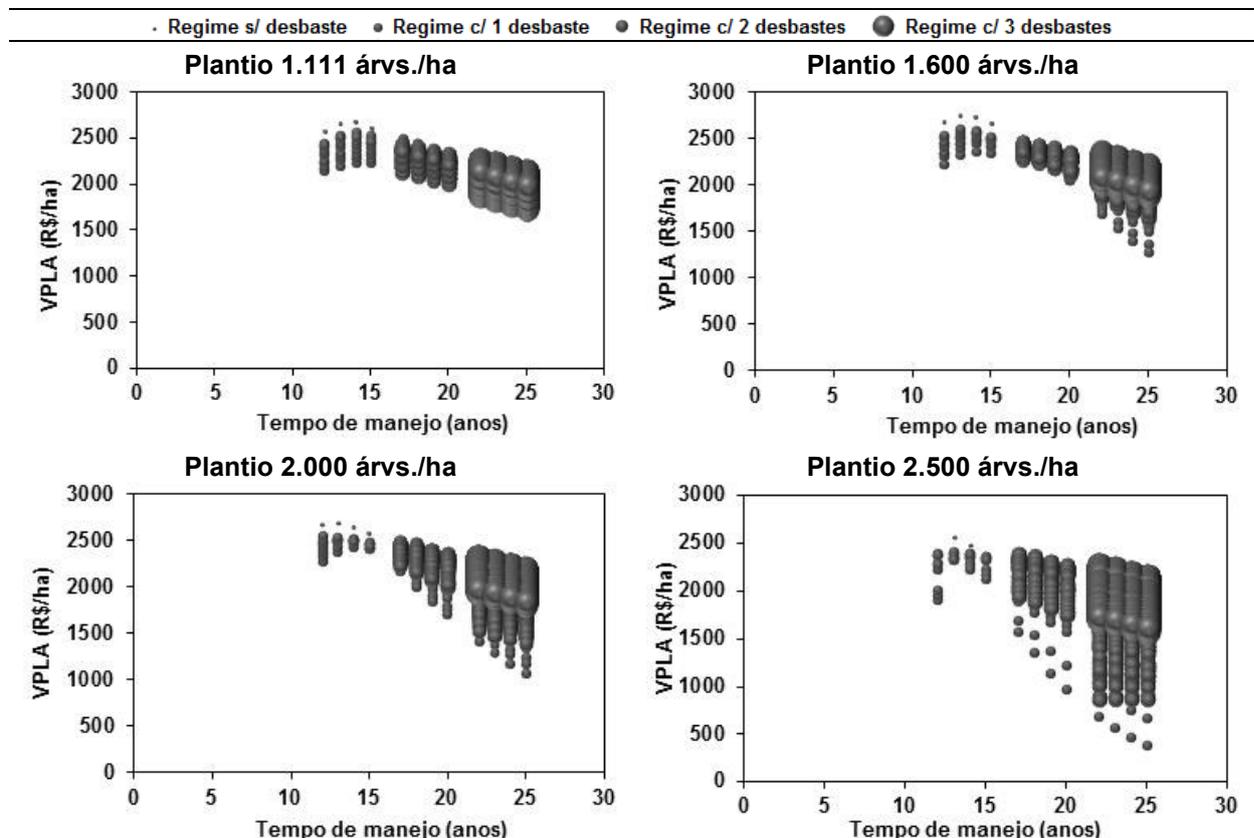


FIGURA 17 – VALORES PRESENTES LÍQUIDOS ANUALIZADOS PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO I.

As amplitudes mínima e máxima do VPLA foram observadas nos regimes com 1.111 e 2.500 plantas por ha, respectivamente. No geral, os VPLAs mínimo e máximo observados foram de, aproximadamente, R\$ 375 e R\$ 2.755, para o regime com 2.500 e 1.600 plantas por ha, respectivamente.

Os gráficos da Figura 17 mostram as diferentes necessidades de desbastar uma floresta de acordo com sua densidade inicial de plantio, pois na medida em que foi aumentada a densidade de árvores por ha, a aplicação de poucos desbastes comprometeu o VPLA proporcionalmente.

O efeito do número de desbastes nos regimes com plantio de 1.111 plantas por ha, entre 22 e 25 anos, foi pouco pronunciado ao comparar com os regimes cujo plantio foi de 1.600 plantas por ha, uma vez que nesses foram observados VPLAs crescentes de acordo com o aumento do número de desbastes.

Para os regimes com 2.000 plantas por ha, a demanda do maior número de desbastes pode ser vista a partir dos 18 anos, em que os VPLAs são maiores com a aplicação de dois desbastes, ao comparar àqueles com apenas um, e assim por diante. A situação extrema foi notada nos regimes com 2.500 plantas por ha, em que a variação entre os VPLAs foi mais discrepante e antecipada para o tempo de 17 anos de manejo, ao considerar regimes com um, dois e três desbastes.

Contudo, no geral os gráficos mostraram tendências semelhantes no que se refere ao comportamento do VPLA em função do tempo, sendo observados valores máximos entre 12 e 15 anos de tempo de manejo, com decréscimo a partir daí, para os quatro espaçamentos de plantio.

Para os regimes com tempo de manejo entre 12 e 15 anos, foi observada que a prática de desbaste é dispensável para maximizar o VPLA, exceto aos plantios com 2.500 plantas por ha, devido à maior densidade de plantas. Porém, a aplicação de um desbaste entre 7 e 9 anos reduz minimamente o VPLA a ponto de tornar essa decisão dependente de aspectos financeiros, como fluxo de caixa, oferta e demanda de mercado.

Em relação aos regimes com corte raso entre 17 e 20 anos, invariavelmente o VPLA foi, em média, decrescente com o aumento da idade, sendo observados maiores valores para os regimes com dois desbastes. Tal decréscimo também foi constatado para os regimes com corte raso efetuado entre 22 e 25 anos, porém os maiores VPLAs corresponderam aos regimes com três desbastes.

Não obstante, para essas idades mais avançadas, a não aplicação de três desbastes comprometeu significativamente o VPLA para os regimes com densidade inicial de 1.600, 2.000 e 2.500 plantas por ha, o que pode ser justificado pela alta mortalidade natural. Devido a uma menor competição entre indivíduos, tal situação não foi suficiente para o mesmo ocorrer nos regimes com densidade inicial de 1.111 plantas por ha, logo, a decisão em aplicar um ou dois desbastes, apesar de não ser o ótimo, não reduz tanto o VPLA quanto as outras densidades.

Outra questão pertinente aos regimes conduzidos até as idades avançadas e em sítios de qualidade superior, refere-se à adoção de no máximo três desbastes, o que impossibilita a discussão do comportamento com mais aplicações. Contudo, como nesses sítios os maiores VPLAs foram vistos nos regimes com maior número de desbastes, a pesquisa permite considerar válidas as simulações acrescentando um quarto ou quinto desbaste.

A Figura 18 apresenta os resultados obtidos para os regimes de manejo simulados em sítio II, cuja altura dominante equivale a 23,3 m. No geral, os VPLAs mínimo e máximo observados foram de, aproximadamente, R\$ 62 e R\$ 1.540, para os plantios com 2.500 e 1.600 plantas por ha, respectivamente.

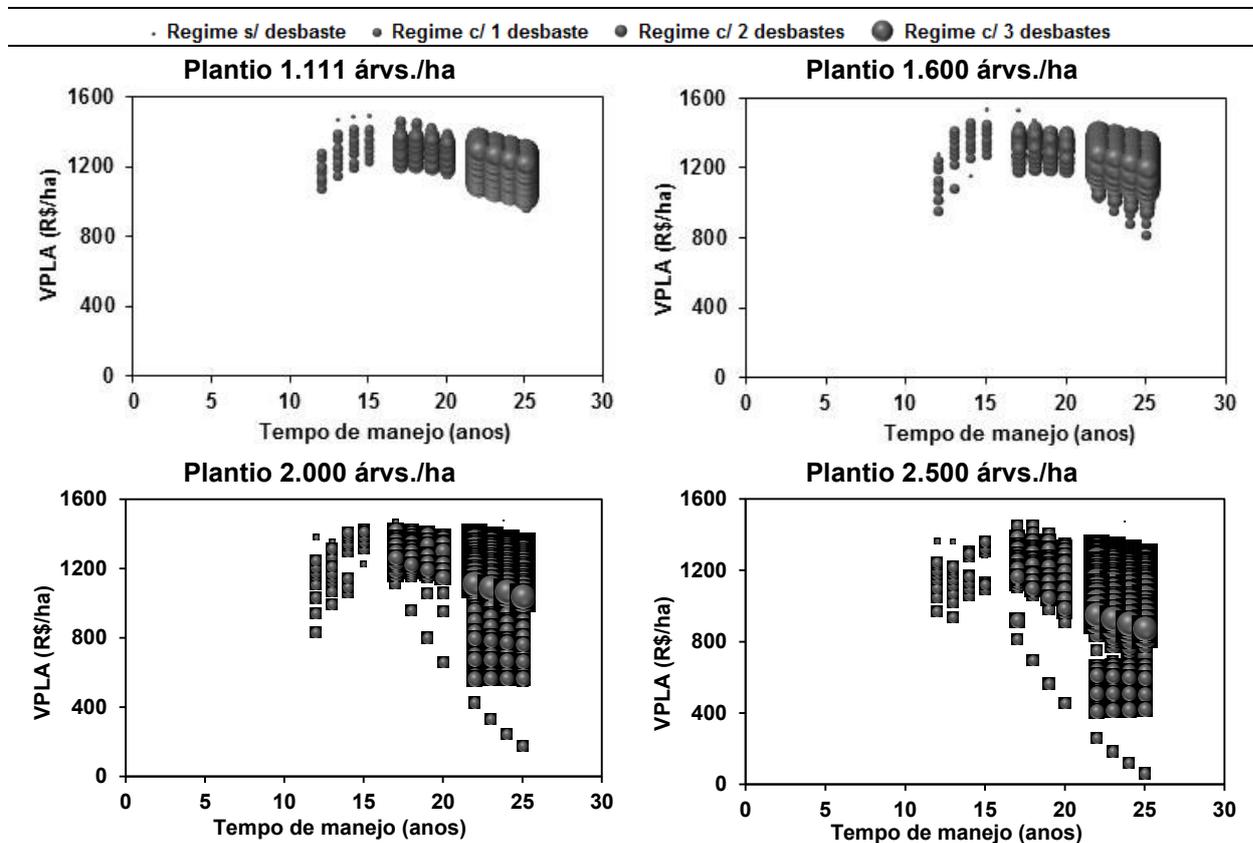


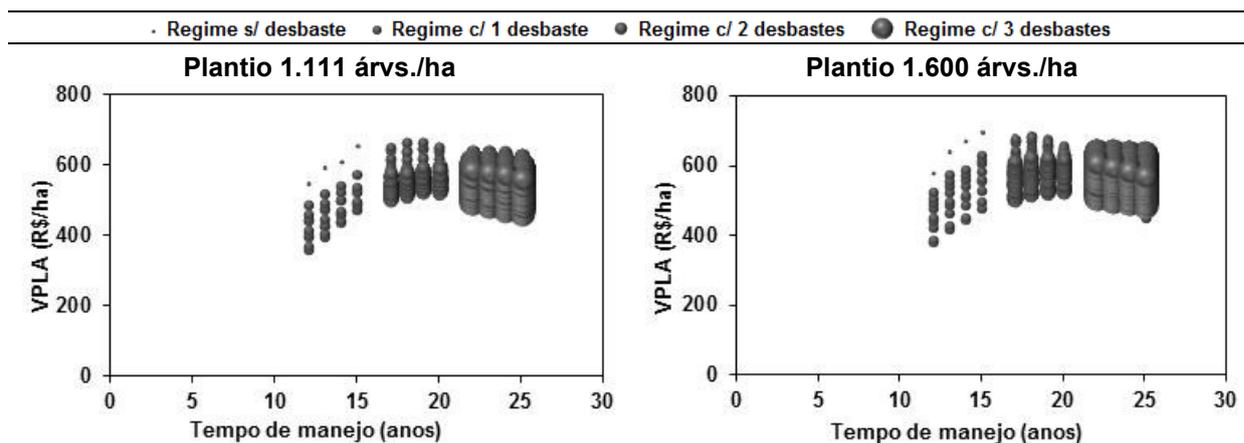
FIGURA 18 – VALORES PRESENTES LÍQUIDOS ANUALIZADOS PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO II.

Conforme observado na Figura 18, foi notada uma distinção na tendência do comportamento do VPLA em função do tempo, ao comparar àquela observada nos gráficos para o sítio I, pois nesse caso, os VPLAs máximos foram deslocados para as idades entre 15 e 20 anos e, na situação anterior, eles ocorreram no tempo de manejo entre 12 e 15 anos.

Foi notado o mesmo comportamento para regimes com espaçamento de plantio de 1.111 plantas por ha, cujos números de aplicações de desbastes não refletiram com veemência no VPLA, em comparação aos outros regimes de manejo, fato também notado para o sítio I.

Uma evidente diferença entre os resultados desses dois sítios é que neste foi visto alguns regimes ótimos, manejados entre 17 e 20 anos, com menor número de desbastes, sendo eles: com densidade de 1.600 e 2.000 plantas por ha, sem desbaste e corte raso aos 17 anos; com densidade de 1.111 e 2.500 plantas, com um desbaste e corte raso aos 17 anos. Esses menores números de desbastes, para esse intervalo de tempo, não foram observados no sítio I, o que implica na redução de desbastes para os piores sítios.

A Figura 19 apresenta os resultados obtidos para os regimes de manejo simulados em sítio III, cuja altura dominante corresponde a 18,8 m. No geral, os VPLAs mínimo e máximo observados equivaleram a, aproximadamente, R\$ 165 e R\$ 695 para os plantios com 2.500 e 1.600 plantas por ha, respectivamente.



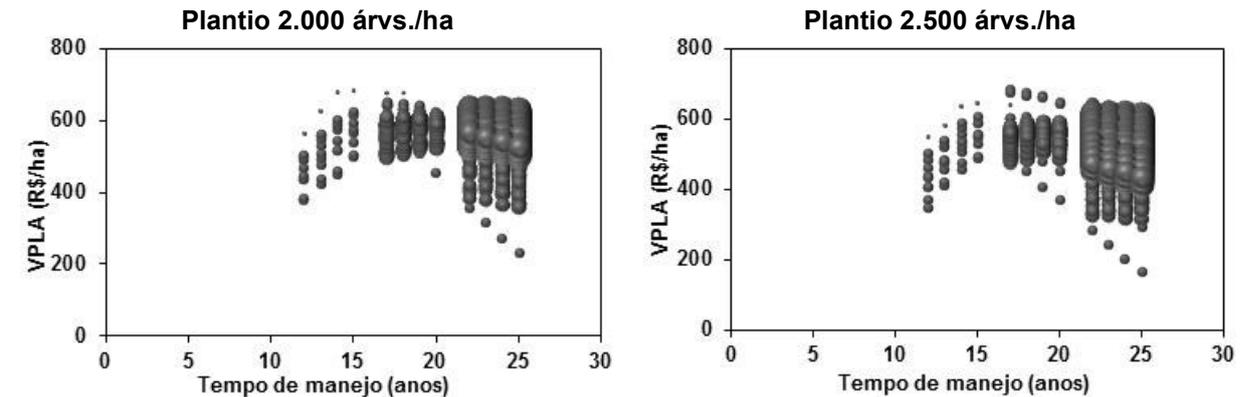


FIGURA 19 – VALORES PRESENTES LÍQUIDOS ANUALIZADOS PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO III.

De acordo com a Figura 19, foi notada uma maior discrepância de VPLA, em comparação aos sítios I e II, para os tempos de manejo entre 12 e 15 anos, pois os regimes sem desbaste propiciaram VPLA mais sobressalentes àqueles com um desbaste, fato que nos sítios anteriores tais diferenças eram pouco pronunciadas.

O mesmo ocorreu para os tempos de manejo entre 17 e 20 anos, em que a redução de desbastes passou a obter VPLAs relativamente superiores. Para os regimes manejados entre 22 e 25 anos, a aplicação de três desbastes ainda forneceram maiores VPLAs, exceto para regimes com densidade de plantio de 1.111 plantas por ha, em que alguns com apenas dois desbastes resultaram nos maiores VPLA, devido a menor densidade de plantas.

Além disso, também pode ser notado que nos regimes com plantio de 1.600 plantas por ha, manejados entre 22 e 25 anos, não houve diferença aparente entre os números de desbastes, o que indica que o efeito da aplicação do desbaste no VPLA passa a ser reduzido. Em adicional, para as outras densidades de plantio, esse efeito tem sido menor ao comparar com os sítios melhores, confirmando que sítios piores demandam menos desbastes.

Conforme Figura 20, no sítio IV surgem os regimes de manejo com VPLA negativo, ou seja, economicamente inviáveis. Os gráficos ilustram os regimes simulados para esse sítio, nos quais os VPLAs variaram de – R\$ 180 e R\$ 160 (Figura 20).

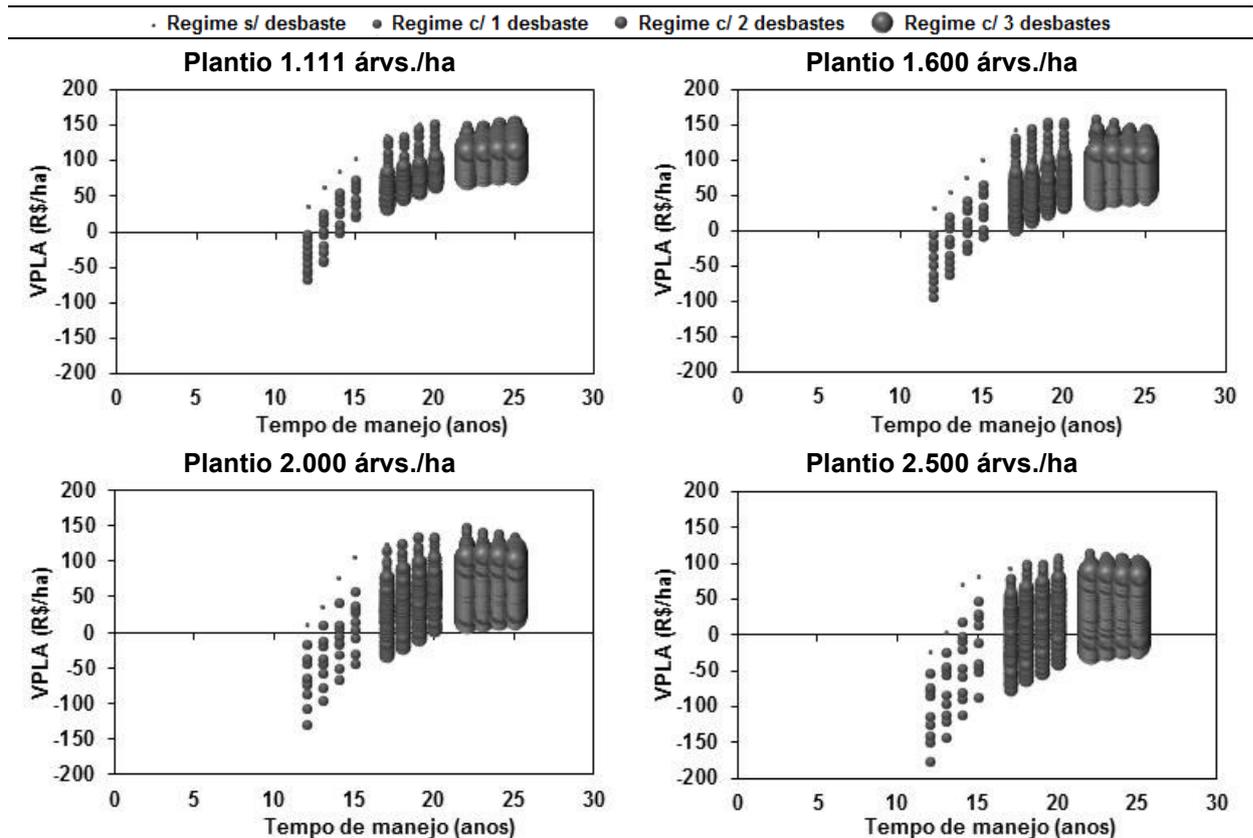


FIGURA 20 – VALORES PRESENTES LÍQUIDOS ANUALIZADOS PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO IV.

Para esse sítio foi constatada uma diferença do comportamento do VPLA em função do tempo de manejo, em comparação aos sítios até então apresentados. Foi observado na Figura 20 que, em média, os maiores VPLAs correspondem aos regimes manejados entre 22 e 25 anos, ao passo que muitos daqueles existentes entre 12 e 15 anos foram economicamente inviáveis.

Também são observados, porém em minoria, alguns regimes com VPLA negativo com corte raso efetuado entre 17 e 20 anos e 22 e 25 anos, conforme gráficos com densidade de plantio de 2.000 e 2.500 plantas por ha. Em todas as situações o regime ótimo possuiu, no máximo, apenas um desbaste, inclusive para os regimes conduzidos até os 25 anos de idade.

De modo geral, foi observado que o alcance do VPLA ótimo é retardado na medida em que os sítios são piores. Um aspecto pertinente a essa relação é que, apesar de no cálculo não ter sido incluído um valor médio de outros custos, como estradas e manutenção da floresta, tal relação de qualidade de sítio e VPLA não seria afetada, pois a inclusão de outros custos apenas reduziria o valor absoluto do

VPLA. Por exemplo, ao considerar um custo adicional R\$ 50 ao ano, os VPLAs de todos os regimes seriam subtraídos por esse valor.

Em todas as situações (sítios e densidades de plantio), os regimes iguais em número de desbastes e tempo de manejo forneceram valores de VPLA distintos, sendo que em alguns deles o maior VPLA alcançou o dobro do menor, principalmente para os regimes manejados até às idades mais avançadas.

Além disso, uma maior atenção deve ser tomada para regimes conduzidos em idades mais avançadas, visto que a sensibilidade do VPLA foi mais pronunciada mediante os diferentes regimes de desbastes, em todos os sítios. Esses resultados mostram a importância de se realizar inventários florestais consecutivos para auxiliar na tomada de decisão do regime de desbaste a ser adotado, incluindo o tipo, peso e frequência.

Na Tabela 21 estão descritos os regimes de manejo com VPLA ótimo por sítio e densidade inicial de plantas, além de suas respectivas taxas internas de retorno (TIR). Os números 1, 2 ou 3, sobrescritos após a porcentagem de árvores remanescentes nos desbastes, correspondem ao primeiro, segundo ou terceiro ano de sua aplicação, respectivamente, considerando o dado intervalo de tempo.

A variação do VPLA esteve entre R\$ 113 e R\$ 2.754, correspondentes aos regimes com plantio de 1.600 plantas por ha em sítio IV e I, respectivamente. Em relação à TIR, a variação entre sítios foi de 9% a 31%, para os regimes com plantio de 1.600 e 2.500 plantas por ha em sítio IV e I, respectivamente.

TABELA 21 – REGIMES DE MANEJO ÓTIMOS VISANDO O VALOR PRESENTE LÍQUIDO ANUALIZADO, PARA *Pinus taeda* EM QUATRO SÍTIOS FLORESTAIS.

PLANTIO (árvs./ha)	PERÍODO DE DESBASTE (ANOS)			ANO DE CORTE RASO	VPLA ÓTIMO	TIR
	7-9	13-15	18-20			
SÍTIO I – ALTURA DOMINANTE: 27,8 m						
1.111	-	-	-	14	R\$ 2.676,60	30,9%
1.600	-	-	-	13	R\$ 2.753,62	30,7%
2.000	-	-	-	13	R\$ 2.688,85	29,1%
2.500	-	-	-	13	R\$ 2.554,06	27,3%
SÍTIO II – ALTURA DOMINANTE: 23,3 m						
1.111	-	-	-	15	R\$ 1.491,49	25,0%
1.600	-	-	-	15	R\$ 1.540,65	23,6%
2.000	-	-	-	17	R\$ 1.469,04	20,9%

continua

						conclusão	
2.500	-	D70 ²	-	17	R\$ 1.449,95	19,5%	
SÍTIO III – ALTURA DOMINANTE: 18,8 m							
1.111	-	D70 ³	-	19	R\$ 665,54	18,0%	
1.600	-	-	-	15	R\$ 696,10	18,4%	
2.000	-	-	-	15	R\$ 683,41	17,5%	
2.500	-	D70 ²	-	17	R\$ 681,81	14,1%	
SÍTIO IV – ALTURA DOMINANTE: 14,3 m							
1.111	-	-	D70 ³	25	R\$ 153,81	11,9%	
1.600	-	-	D70³	22	R\$ 158,40	11,0%	
2.000	-	-	D70 ¹	22	R\$ 147,47	10,6%	
2.500	-	-	D70 ¹	22	R\$ 113,04	9,8%	

VPLA: valor presente líquido anualizado (R\$/ha); TIR: taxa interna de retorno; D40, D55 e D70: Desbaste por baixo com 40%, 55% e 70% de árvores remanescentes, respectivamente. Obs.: o primeiro desbaste sempre é misto, com sistematização de retirada de uma linha de plantio a cada cinco, conciliado ao desbaste por baixo; Sobrescrito 1, 2 e 3: primeiro, segundo e terceiro ano do intervalo.

Conforme Tabela 21, os VPLAs ótimos corresponderam, independente do sítio, aos regimes de manejo com densidade de plantio de 1.600 plantas por ha. Além disso, foi observado que entre os valores ótimos, os regimes com plantios de 2.500 plantas por ha forneceram sempre os menores VPLAs e menores TIRs.

A variação das TIRs dentro do sítio foi inferior a 4%, exceto no sítio II, que foi de 5,5%. Em todos os sítios, as porcentagens da TIR não foram proporcionais aos VPLAs, o que implica em seus valores ser independentes.

Corroborando ao que foi discutido, na Tabela 21 pode ser verificada a maior demanda de tempo para o alcance do VPLA ótimo, na medida em que é diminuída a capacidade produtiva do sítio, sendo que no sítio I, o tempo foi de 13 anos, ao passo que no sítio IV foi aos 22 anos de tempo de manejo.

Isso explica o fato do regime selecionado no sítio I não apresentar desbaste, devido à precoce idade de corte raso. Em relação ao sítio II, o VPLA ótimo correspondeu a um regime também sem desbaste, porém com corte raso aos 15 anos, indicando que sua capacidade produtiva demanda de mais dois anos, em comparação ao sítio I, para retornar ao VPLA ótimo. Situação semelhante ocorreu para o sítio III.

Em relação ao sítio IV, foi verificado que o regime que retorna o maior VPLA deve ser manejado até os 22 anos de idade, com desbaste misto aos 20 anos com retirada de uma a cada cinco linhas de plantio, acrescido de um desbaste por baixo, mantendo 70% de árvores remanescentes.

Esses resultados confirmam a menor demanda de desbastes com a redução da capacidade produtiva local, pois no sítio IV, mesmo com o tempo de manejo sendo de 22 anos, foi selecionado o regime com apenas um desbaste e com retirada por baixo da menor porcentagem possível (30%). Isso também foi observado para as outras densidades de plantio, inclusive para a de 2.500 plantas por ha.

Em contrassenso, conforme as Figuras 17, 18 e 19, correspondentes aos VPLAs dos sítios I, II e III, respectivamente, os regimes ótimos manejados a essa idade demandam de dois ou três desbastes, inclusive com maior rigor de seleção por baixo, sendo proporcionalmente à capacidade produtiva local.

É válido ressaltar que os máximos valores obtidos na pesquisa condizem a uma taxa de juros pré-estabelecida equivalente a 8% a.a. e seus resultados podem ser alterados mediante a sua variação. Em uma análise prévia, foi verificado que a taxa aumentada até 10% a.a. aparentemente não modificou o comportamento do VPLA, em função do número de desbastes e tempo de manejo, havendo apenas uma redução absoluta da escala.

Por exemplo, para regimes em sítio I, com plantio de 1.600 plantas por ha, em que os intervalos do VPLA foram de R\$ 1.610 e R\$ 2.680, com a taxa de 10% a.a. eles reduziram para R\$ 1.080 e R\$ 2.230, aproximadamente. Assim, cabe ao manejador atentar aos resultados explicados por meio de análises de sensibilidade, conforme Stall (2012).

Sendo assim, é prudente interpretar os resultados como o potencial que um determinado sítio florestal possui em retornar o investimento, pois outros aspectos pertinentes à produção devem ser considerados, como o risco de possuir baixa diversidade de produtos, razão pela qual é feita a condução de povoamentos, mesmo em sítios superiores, em idades além do tempo do regime ótimo.

Conforme os resultados da otimização, na Figura 21 estão apresentados os volumes por sortimento para os regimes de manejo dos sítios I, II, III e IV, selecionados por possuírem VPLA ótimo, conforme Tabela 21.

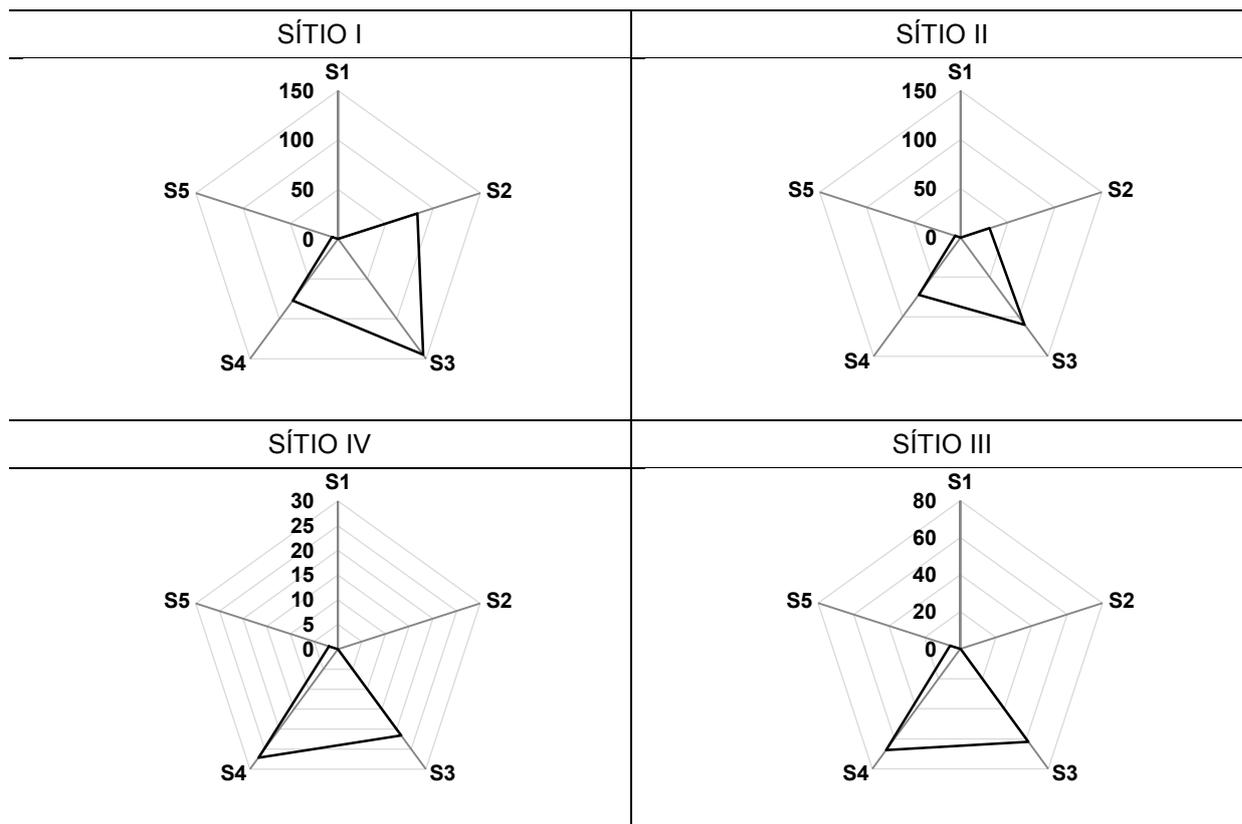


FIGURA 21 – VOLUME (m^3/ha) POR SORTIMENTO DE PLANTIOS COM 1.600 PLANTAS POR HECTARE, PARA SIMULAÇÕES DE REGIMES DE *Pinus taeda* SELECIONADOS PELO VPLA ÓTIMO.

A Figura 21 ilustra o maior potencial do sítio I em produzir multiprodutos, em relação aos demais, pois o regime desse sítio foi simulado com tempo de manejo de 13 anos, ao passo que aqueles dos sítios II, III e IV corresponderam ao tempo de 15, 15 e 22 anos, respectivamente. Em outras palavras, mesmo com corte raso efetuado anteriormente, o regime do sítio I foi o que forneceu maior variedade de sortimentos aos demais regimes.

A capacidade desse sítio em produzir multiprodutos pode ser vista na Figura 22, em que estão mostrados os volumes por sortimento dos regimes que forneceram VPLAs, ótimos, considerando os tempos de manejo de 17, 20, 22 e 25 anos.

Os regimes correspondem à densidade inicial de 1.600 plantas por ha, exceto para o regime conduzido até 17 anos, o qual foi de 1.111 plantas por ha. Os desbastes estão representados pela letra “D” e podem ser entendidos conforme a legenda.

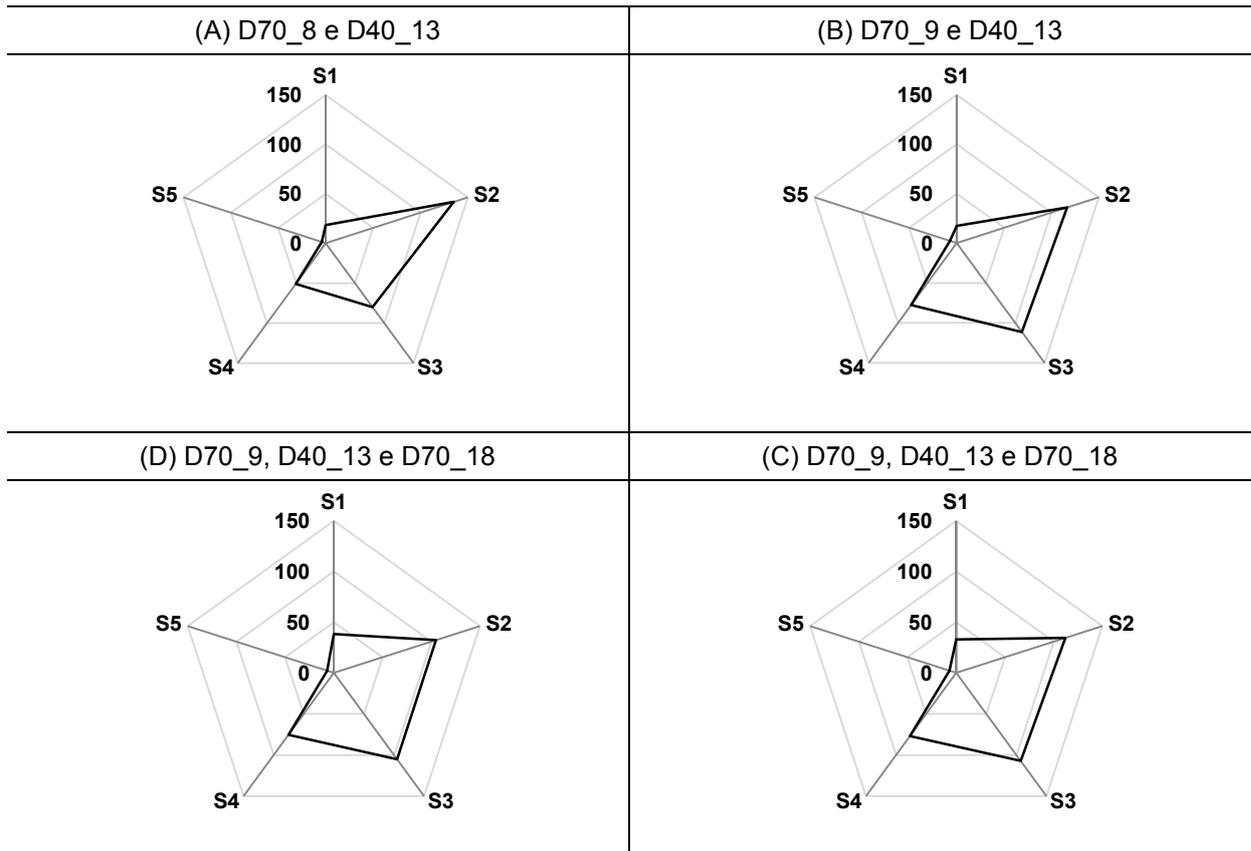


FIGURA 22 – REGIMES DE MANEJO ÓTIMOS SIMULADOS PARA SÍTIO I E COM CORTE RASO AOS 17 (A), 20 (B), 22 (C) E 25 (D) ANOS.

D40, D55 e D70: Desbaste por baixo com remoção de 40%, 55% e 70% de árvores remanescentes, respectivamente; Números seguidos do travessão indica idade, em anos, da aplicação do desbaste. Obs.: o primeiro desbaste sempre é misto, com sistematização de retirada de uma a cada cinco linhas de plantio, conciliado ao desbaste por baixo.

Conforme Figura 22, foi observado que os regimes manejados até 17 e 20 anos demandaram de dois desbastes para alcançarem o máximo VPLA, ao passo que aqueles manejados até 22 e 25 anos, o regime foi composto por três desbastes.

A evolução do sortimento é evidenciada pelo incremento em madeira, sobretudo à classe S1, que corresponde a de toras para laminação, de maior valor agregado e diâmetro mínimo de 35,1 cm.

Conforme Figura 22, em todos os casos, os regimes foram equivalentes em intensidade de desbaste, bem como idade de aplicação, exceto para o primeiro desbaste efetuado para o regime com plantio de 1.111 plantas por ha, no qual a idade foi de 8 anos para o primeiro desbaste.

Tais resultados indicam que essa combinação de um primeiro desbaste misto, seguido de um segundo e, quando pertinente, um terceiro desbaste por baixo

é a melhor alternativa para alcançar o máximo VPLA, em regimes manejados até as idades correspondentes.

3.2 MAXIMIZAÇÃO DO VOLUME

Em relação à maximização visando à produção em volume de madeira, os gráficos ilustrados a seguir apresentam os resultados de forma semelhante ao VPLA e estão separados por sítio e densidade de plantio. A comparação foi feita entre os regimes com tempos de manejo equivalentes a 15, 20 e 25 anos.

Na Figura 23 estão apresentados volumes de regimes de manejo simulados para o sítio I, os quais tiveram valores mínimo e máximo, aproximadamente, de 435 e 1.630 m³/ha, respectivamente, ambos encontrados em regimes com densidade de 2.500 plantas por ha e manejados até 25 anos.

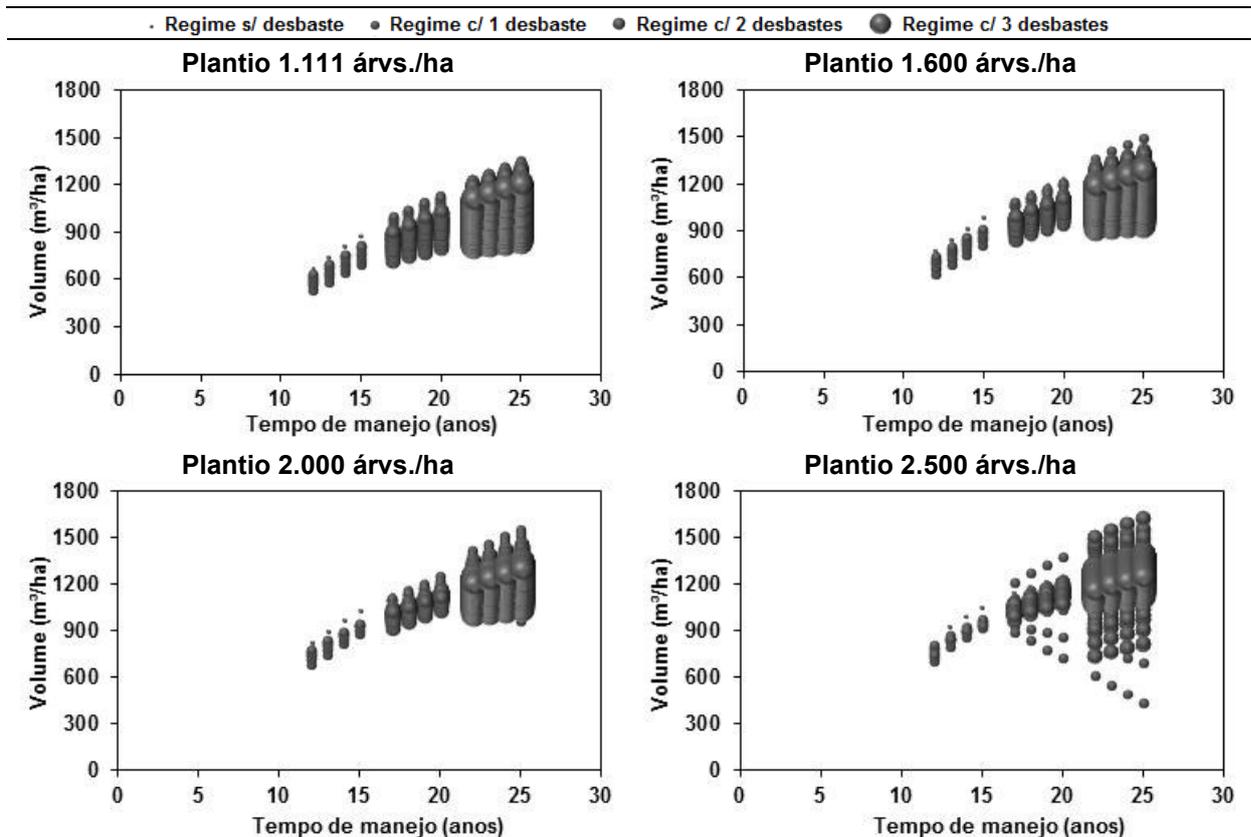


FIGURA 23 – VOLUMES TOTAIS OBTIDOS EM SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO I.

Assim como observado nos gráficos para o VPLA, para o tempo de manejo entre 12 e 15 anos, os regimes sem e com aplicação de um desbaste não diferiram com veemência, mas eles mantiveram levemente superiores àqueles desbastados. Aliás, os regimes com aplicação de apenas um desbaste apresentaram os melhores resultados de produção em volume, com exceção para a situação citada e para os regimes manejados entre 22 e 25 anos com densidade de plantio de 2.500 plantas por ha.

Foi constatada a sensibilidade dos regimes aos desbastes, proporcional à densidade de plantio, em que pode ser notada uma maior variação volumétrica, em função do número de desbastes aplicados, de acordo com o aumento da densidade de plantas.

Assim, a diferença volumétrica para regimes com densidade de plantio de 1.111 plantas por ha e com uma e duas, ou duas e três aplicações de desbaste mostraram-se parecidos. Por outro lado, a situação crítica foi vista para os regimes com 2.500 plantas por ha, em que a diferença foi a maior, o que pode ser explicado por essa ser a maior densidade adotada.

Em alguns regimes a sensibilidade foi mais crítica, em que a discrepância foi verificada para regimes equivalentes em número de aplicações de desbastes, indicando que o fator produtivo foi atrelado ao peso e à idade de aplicação. Esse fato foi observado, principalmente, para os regimes manejados entre 17 e 20 anos com densidade de plantio de 2.500 plantas por ha.

Nessa situação, foi verificado que os regimes de desbaste que contribuíram para a maximização do volume corresponderam aos desbastes mistos, aplicados entre 13 e 15 anos de idade, com retirada de uma a cada cinco linhas de plantio, conciliados ao desbaste por baixo mantendo 70% de árvores remanescentes.

Na Figura 24 estão apresentados os volumes de regimes de manejo simulados para o sítio II, os quais no geral variaram, aproximadamente, entre 250 e 1.210 m³/ha, ambos os valores encontrados em regimes com plantio de 2.500 plantas por hectare.

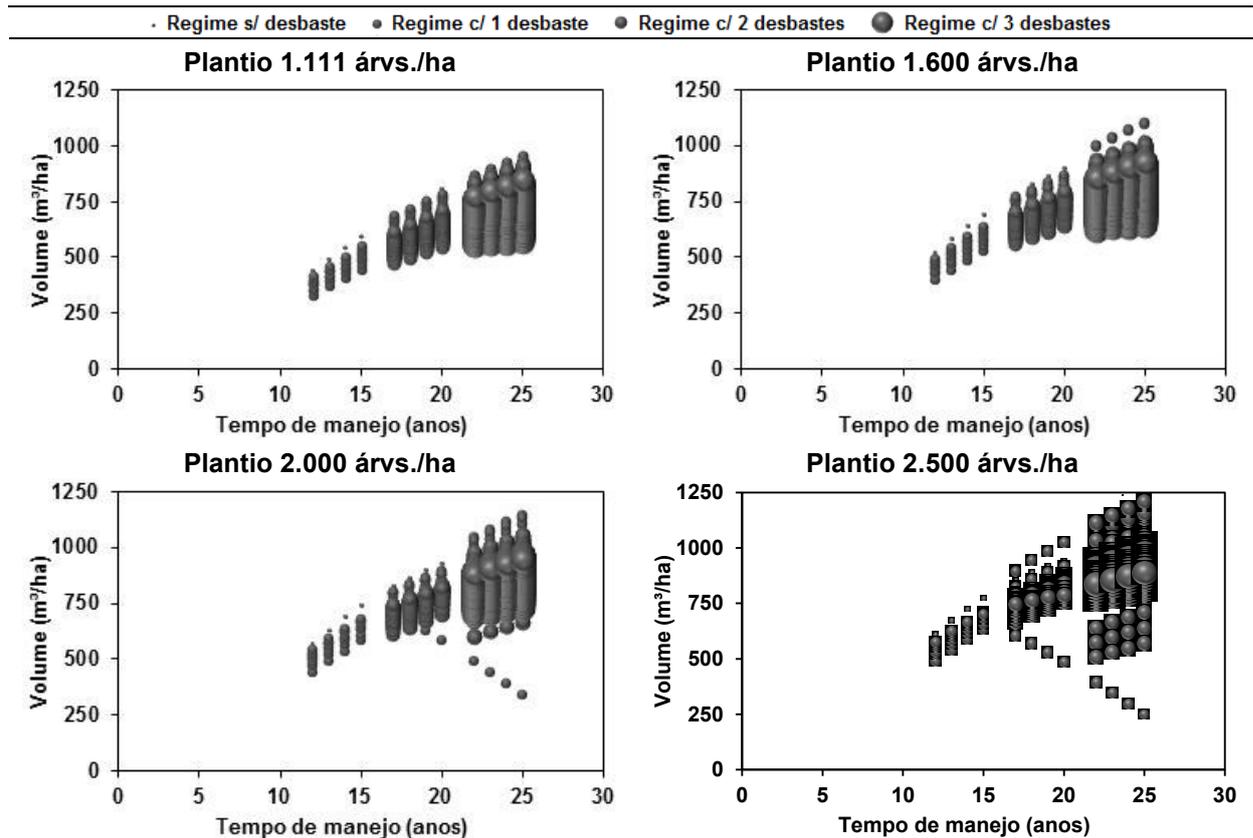


FIGURA 24 – VOLUMES TOTAIS OBTIDOS EM SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO II.

O comportamento dos regimes no que se refere à sensibilidade ao número de desbastes também foi observado para o sítio II, porém com destaque a quatro regimes com densidade de plantio de 2.000 plantas por ha, manejados até entre 22 e 25 anos, nos quais a aplicação de apenas um desbaste resultou em menores produções em volume possíveis.

Em comparação ao sítio I, a demanda pelo número de aplicações de desbastes foi parecida, considerando os regimes manejados nos três intervalos de tempo de manejo, porém, foi notada uma tendência sutil em acréscimo da produção em volume para os regimes com menos desbastes.

Tal afirmação pode ser comprovada pelos regimes com 1.111 plantas por ha, manejados entre 22 e 25 anos, em que alguns deles, com apenas um desbaste, foram distinguidos daqueles com dois e esses, por sua vez, daqueles com três. Essa situação não foi observada no sítio I.

Em relação aos regimes com 1.600 e 2.000 plantas por ha, isso pode ser notado com os regimes manejados nos intervalos entre 17 e 20 e 22 e 25 anos, em

que foram destacados daqueles com menor número de desbastes, em comparação ao sítio I.

Na Figura 25 estão apresentados volumes de regimes de manejo simulados para o sítio III, os quais no geral variaram, aproximadamente, entre 180 e 820 m³/ha, valores encontrados em regimes com plantio de 1.111 e 2.500 plantas por ha, respectivamente.

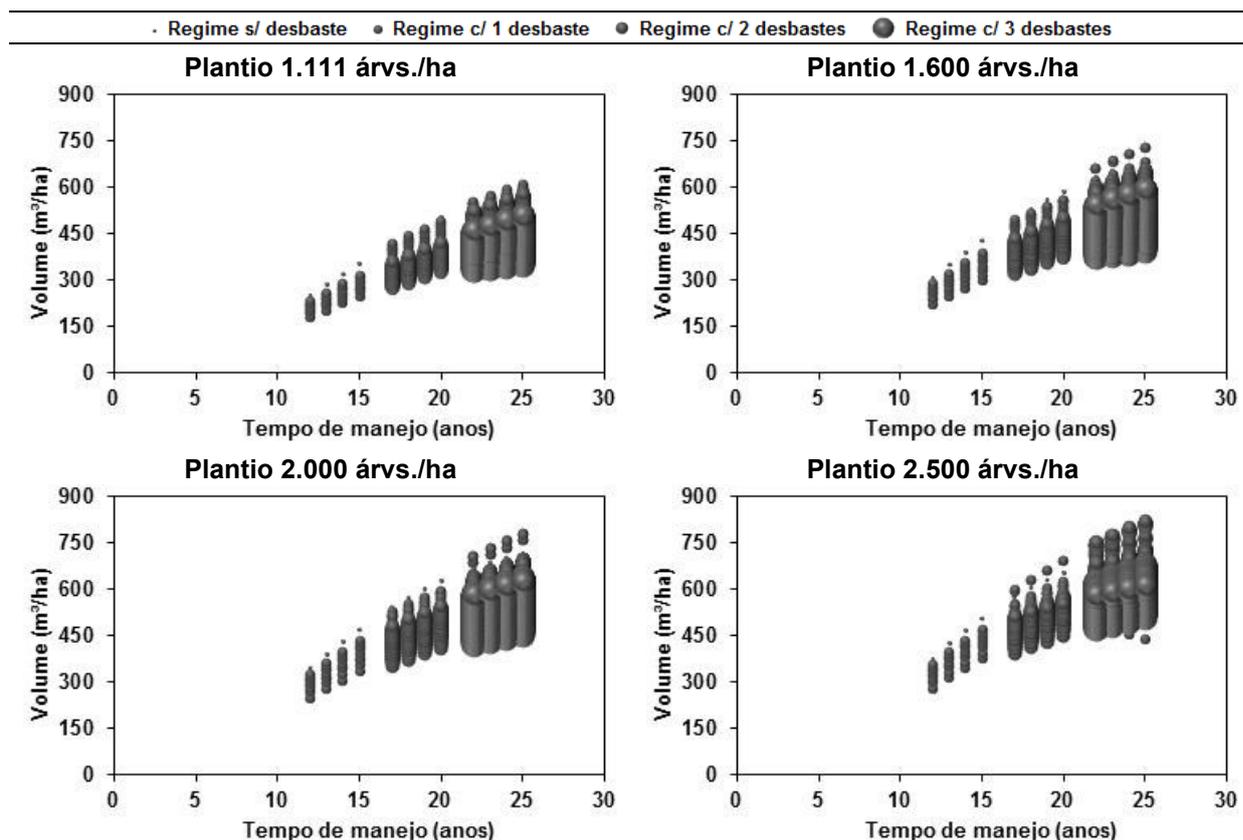


FIGURA 25 – VOLUMES TOTAIS OBTIDOS EM SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO III.

Para o sítio III, foi constatada uma mudança no comportamento da produção em volume, em função do tempo de manejo, para os regimes com densidade de plantio de 2.000 e 2.500 plantas por ha. Conforme Figura 25, não houve regimes com produção em volume tão inferiores quanto a alguns vistos nos sítios I e II, para os tempos de manejo entre 17 e 20 anos e 22 e 25 anos.

O resultado mostra que nenhum regime manejado até essas idades, com aplicação de apenas um desbaste, produz resultados muito inferiores aos demais, indicando que em sítios pouco produtivos a aplicação de pouco ou nenhum desbaste não compromete tanto a produção volumétrica quanto em sítios melhores. Isso pode

ser confirmado com o surgimento de regimes ótimos, desprovidos de desbaste, com tempo de manejo de 20 anos e com densidades de 1.600 e 2.000 árvores por ha.

Na Figura 26 estão apresentados volumes de regimes de manejo simulados para o sítio IV, os quais no geral variaram, aproximadamente, entre 75 e 485 m³/ha, valores encontrados em regimes com plantio de 1.111 e 2.500 plantas por ha, respectivamente.

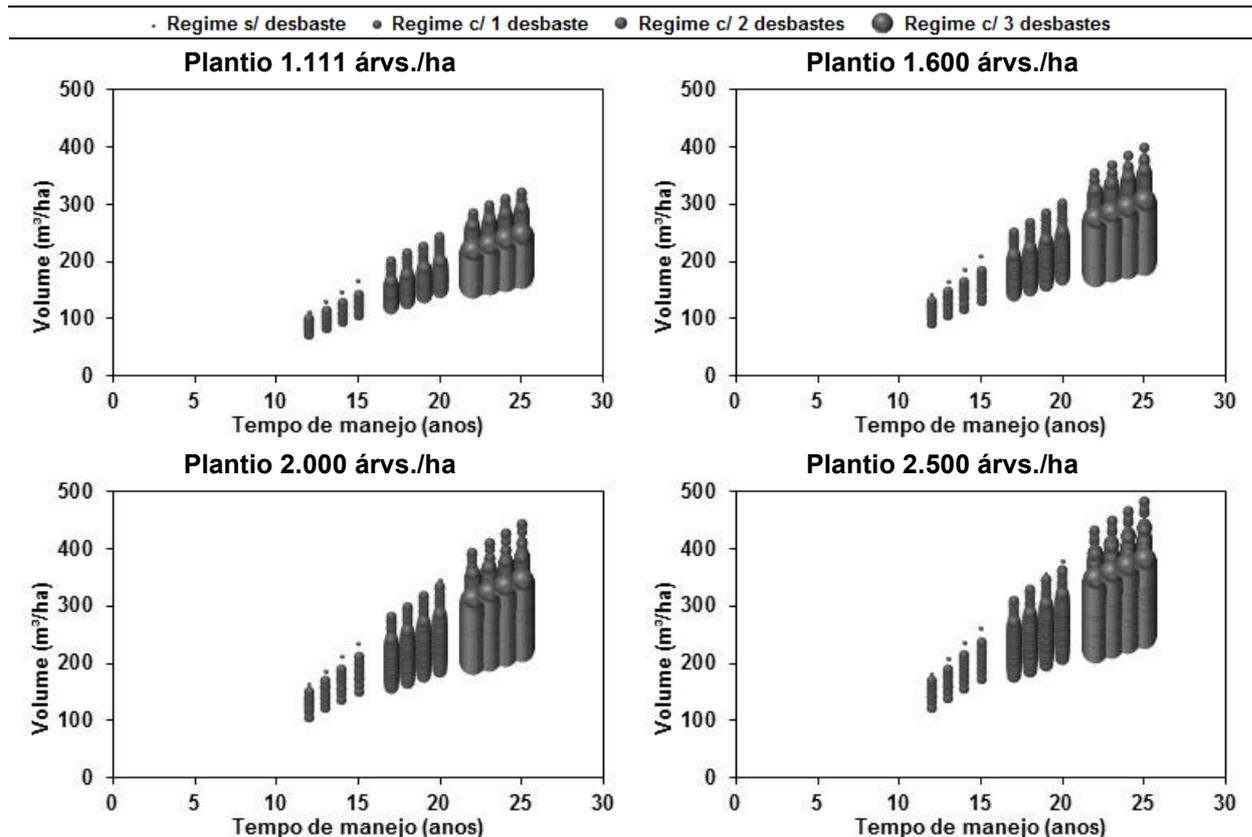


FIGURA 26 – VOLUMES TOTAIS OBTIDOS EM SIMULAÇÕES DE REGIMES DE MANEJO DE *Pinus taeda* EM SÍTIO IV.

No sítio IV, o comportamento da produção em volume, em função do tempo de manejo, foi parecido com o do sítio III. As maiores produções foram obtidas pelos regimes de manejo equivalentes em número de desbastes, exceto àqueles com densidade de plantio de 2.500 plantas por ha, com corte raso entre 22 e 25 anos, pois o ótimo foi alcançado em regimes com apenas um desbaste, ao passo que para os outros sítios eram dois.

Sendo assim, foi verificada a tendência da menor demanda pelo número de aplicações de desbastes na medida em que são piores os sítios florestais, quando o

ensejo é maximizar a produção em volume de madeira. Fato também observado para o VPLA.

No geral, foi observado que o potencial produtivo, para os quatro sítios, é crescente ao comparar regimes da menor para maior densidade de plantio, mostrando que, no geral, os regimes com 2.500 plantas são mais atrativos, visando volume total e desprezando dimensões de toras produzidas.

Na Tabela 22 estão descritos os regimes de manejo que convergem aos volumes máximos, por sítio e densidade inicial de plantas. Eles correspondem àqueles com corte raso aos 15, 20 e 25 anos.

A variação do volume, em m³/ha, esteve entre 261 e 1.629, correspondentes aos regimes com corte raso aos 15 e 25 anos, em sítio IV e I, respectivamente. Em relação ao incremento médio anual (IMA), em m³/ha/ano, a variação foi de 17,4 a 70,1, para regimes com corte raso aos 15 anos, em sítio IV e I, respectivamente.

Os números 1, 2 ou 3, sobrescritos após a porcentagem de árvores remanescentes nos desbastes, correspondem ao primeiro, segundo ou terceiro ano de sua aplicação, respectivamente, considerando o dado intervalo de tempo.

TABELA 22 – REGIMES DE MANEJO ÓTIMOS VISANDO A PRODUÇÃO EM VOLUME, PARA *Pinus taeda* EM QUATRO SÍTIOS.

TEMPO DE MANEJO	PLANTIO (árvs./ha)	PERÍODO DE DESBASTE (ANOS)			VOLUME ÓTIMO (m ³ /ha)	IMA
		7-9	13-15	18-20		
SÍTIO I – ALTURA DOMINANTE: 27,8 m						
15 anos	2.500	-	-	-	1.051	70,1
20 anos	2.500	-	D70 ³	-	1.379	69,0
25 anos	2.500	-	D70 ³	D70 ³	1.629	65,2
SÍTIO II – ALTURA DOMINANTE: 23,3 m						
15 anos	2.500	-	-	-	774	51,6
20 anos	2.500	-	D70 ²	-	1.026	51,3
25 anos	2.500	-	D70 ³	D70 ³	1.209	48,4
SÍTIO III – ALTURA DOMINANTE: 18,8 m						
15 anos	2.500	-	-	-	508	33,8
20 anos	2.500	-	D55 ³	-	693	34,6
25 anos	2.500	-	D70 ³	D70 ³	820	32,8
SÍTIO IV – ALTURA DOMINANTE: 14,3 m						
15 anos	2.500	-	-	-	261	17,4
20 anos	2.500	-	-	-	378	18,9

continua

25 anos	2.500	-	-	D70 ³	484	conclusão 19,3
---------	-------	---	---	------------------	-----	-------------------

IMA: incremento médio anual (m³/ha/ano); D40, D55 e D70: Desbaste por baixo com remoção de 40%, 55% e 70% de árvores remanescentes, respectivamente. Obs.: o primeiro desbaste sempre é misto, com sistematização de retirada de uma linha de plantio a cada cinco, conciliado ao desbaste por baixo; Sobrescrito 1, 2 e 3: primeiro, segundo e terceiro ano do intervalo.

Foi notado que desbastes efetuados entre 7 e 9 anos de idade não compuseram os regimes de manejo selecionados. Conforme Tabela 22, os regimes de manejo selecionados, em todas as idades de corte raso, possuem densidade de plantio de 2.500 plantas por ha. Além disso,

Gomes *et al.* (1997) também verificaram que espaçamentos mais amplos propiciam a uma maior produção em volume de madeira. Por outro lado, os autores concluíram que os espaçamentos mais amplos fornecem toras para fins mais nobres, como serraria e laminação.

Em relação às idades de corte raso, os regimes selecionados aos 15 anos não demandaram desbaste e, aos 20 anos, apenas para o sítio III não foi observado desbaste, pois os demais demandaram um.

Sanquetta *et al.* (2004) compararam povoamentos de *Pinus taeda* diferentes em espaçamento de plantio e constataram que regimes sem desbaste favorecem à produção de celulose, considerando corte raso também aos 20 anos. Além disso, os autores não recomendaram antecipação do corte raso aos 15 anos, visando toras para essa mesma finalidade.

Para a idade de 25 anos de corte raso, os regimes selecionados foram compostos por dois desbastes, exceto para aquele do sítio IV, que possui apenas um. Nessa idade, as porcentagens de seleção de árvores remanescentes nos desbastes foram equivalentes para os quatro sítios, valor correspondente a 70%.

Assim, os resultados mostram que o objetivo de maximizar o volume de madeira demanda de menos desbastes, em comparação à maximização do VPLA, visto que os regimes com maior número de desbastes não foram aqueles que forneceram os volumes ótimos.

3.3 REGIMES DE MANEJO ALTERNATIVOS

As simulações correspondem a situações hipotéticas, em que condições adversas como ocorrência de pragas, doenças e incêndios florestais são desprezadas. Assim, os regimes considerados ótimos levando em conta apenas os preços e custos de produções podem não ser as melhores opções de um manejo conservador.

Em um escopo mais próximo à realidade, a aplicação de desbastes em povoamentos de *Pinus* spp. comumente é feita como medida de controle de pragas como a vespa-da-madeira (*Sirex noctilio* F.), o macaco-prego (*Cebus apella* Linnaeus), bem como incêndios florestais (NAVE; LOURENÇO, 2007; PENTEADO *et al.*, 2000; ROCHA, 2000).

Conforme Tabela 21, por duas razões poucos regimes ótimos visando o VPLA apresentaram desbastes. A primeira devido ao fato de em sítios superiores o máximo VPLA ser alcançado com antecedência, ao comparar com sítios inferiores, e esses, por sua vez, demandam menos desbastes pela baixa capacidade produtiva.

Em relação à maximização visando o volume, os regimes de manejo da Tabela 22 também apresentaram baixo número de desbastes, visto que a função objetivo foi maximizar o volume de madeira, independente do sortimento, razão pela qual podem ter sido selecionados regimes superestocados, que geram madeira fina.

Diante dessas condições e da importância da prática de desbastes, na Tabela 23 estão apresentadas alternativas de regimes de manejo visando o VPLA e o volume de madeira, em que foi priorizado pelo menos um desbaste para regimes com tempo de manejo até 20 anos e pelo menos dois desbastes para aqueles com corte raso além de 20 anos de idade.

TABELA 23 – REGIMES DE MANEJO ALTERNATIVOS VISANDO A MAXIMIZAÇÃO DO VPLA E DO VOLUME, PARA *Pinus taeda* EM QUATRO SÍTIOS.

SÍTIO	PLANTIO (árvs./ha)	MAXIMIZAÇÃO DO VPLA			ANO DE CORTE RASO	VPLA (R\$/ha)
		PERÍODO DE DESBASTE (ANOS)				
		7-9	13-15	18-20		
I	1.600	D70 ³	-	-	13	R\$ 2.602,10
II	1.600	D70 ³	-	-	14	R\$ 1.462,54

continua

						conclusão
III	1.600	D70 ³	-	-	15	R\$ 630,71
IV	1.600	-	D70 ³	D70 ¹	22	R\$ 143,21

MAXIMIZAÇÃO DO VOLUME

SÍTIO	PLANTIO (árvs./ha)	PERÍODO DE DESBASTE (ANOS)			ANO DE CORTE RASO	VOLUME (m ³ /ha)
		7-9	13-15	18-20		
I	2.500	D55 ³	-	-	15	978
	2.500	D40 ³	D70 ³	-	20	1.212
	2.500	D55 ³	D55 ¹	D70 ³	25	1.395
II	2.500	D55 ³	-	-	15	710
	2.500	D55 ³	D55 ²	-	20	876
	2.500	D55 ³	D70 ²	D70 ³	25	1.015
III	2.500	D55 ³	-	-	15	470
	2.500	D70 ³	D55 ³	-	20	581
	2.500	D70 ³	D55 ³	D70 ³	25	679
IV	2.500	D70 ³	-	-	15	237
	2.500	-	D70 ²	-	20	364
	2.500	-	D70 ¹	D70 ³	25	440

VPLA: valor presente líquido anualizado (R\$/ha); D40, D55 e D70: Desbaste por baixo com remoção de 40%, 55% e 70% de árvores remanescentes, respectivamente. Obs.: o primeiro desbaste sempre é misto, com sistematização de retirada de uma linha de plantio a cada cinco, conciliado ao desbaste por baixo; Sobrescrito 1, 2 e 3: primeiro, segundo e terceiro ano do intervalo.

Ao comparar com os VPLAs mostrados na Tabela 21, as diferenças mínimas e máximas foram de R\$ 15 e R\$ 150, para os sítios IV e I, respectivamente, o que representa uma perda do VPLA de 10%, aproximadamente, aos regimes alternativos e, em relação ao volume de madeira, as diferenças extremas entre regimes foi de 14 m³ e 234 m³, correspondente a 4% e 14% a menos de volume para os regimes alternativos, sendo eles do sítio IV e I, respectivamente.

4 CONCLUSÕES

Mediante as simulações da produção de regimes de manejo de *Pinus taeda*, em quatro sítios florestais no Sul do Brasil, visando à maximização do Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA), a pesquisa permitiu concluir que:

A demanda por aplicações de desbastes é proporcional à densidade inicial de plantio, o que torna os regimes adensados mais sensíveis quanto ao número de desbastes realizados.

A demanda por aplicações de desbastes é inversamente proporcional à capacidade produtiva do sítio e aumenta de acordo com o tempo de manejo.

Os sítios superiores em capacidade produtiva antecipam o máximo VPLA, em outras palavras, o tempo para regimes em sítios inferiores alcançarem o VPLA ótimo é prolongado. Nos sítios I, II, III e IV, os VPLAs ótimos são obtidos aos 13, 15, 15 e 22 anos, respectivamente.

A melhor opção de plantio, independente do sítio, é de 1.600 plantas por ha.

Para o sítio I, o VPLA máximo foi alcançado pelo regime sem desbaste e corte raso aos 13 anos, entretanto, a diferença é mínima entre os regimes sem e com um desbaste, manejados até entre 13 e 15 anos.

Para os sítios II e III o melhor regime foi sem desbaste, com corte raso aos 15 anos e, para o sítio IV, com apenas um desbaste misto aos 20 anos, removendo uma a cada cinco linhas de plantio, acrescido de um desbaste por baixo com manutenção de 70% de árvores remanescentes.

E, visando à maximização do volume de madeira, esta pesquisa permitiu concluir que:

Os regimes ótimos são com densidade de plantio de 2.500 plantas por ha, independente do sítio florestal e da idade de corte raso.

Tal como a maximização do VPLA, a demanda por aplicações de desbastes é inversamente proporcional à capacidade produtiva do sítio e aumenta de acordo com o tempo de manejo.

Em regimes com corte raso aos 15 anos é dispensável a aplicação de desbastes, independente da capacidade do sítio.

Para aqueles com corte raso aos 20 anos, para os sítios I e II, os regimes ótimos são compostos por um desbaste misto aos 14 e 15 anos, respectivamente, com remoção de uma a cada cinco linhas de plantio, acrescido de um desbaste por baixo com manutenção de 70% de árvores remanescentes.

Para o sítio III essa porcentagem é reduzida para 55% e a aplicação também é aos 15 anos e, para o sítio IV, é dispensável o desbaste.

Para aqueles com corte raso aos 25 anos, em sítios I, II e III, o regime ótimo é composto por um primeiro desbaste misto aos 15 anos, removendo uma a cada cinco linhas de plantio, acrescido de um desbaste por baixo com manutenção de 70% de árvores remanescentes e um segundo desbaste por baixo com manutenção dessa mesma porcentagem.

Para o sítio IV, o regime ótimo é composto por apenas um desbaste misto aos 20 anos, removendo uma a cada cinco linhas de plantio, acrescido de um desbaste por baixo com manutenção de 70% de árvores remanescentes.

5 RECOMENDAÇÕES

Os dois objetivos estudados nesta pesquisa, sendo eles a maximização visando o Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA) e a produção em volume de madeira, convergem na necessidade de diferentes práticas de manejo, sendo que adoções inadequadas podem reduzir consideravelmente a produtividade dos povoamentos a ponto de torná-los inviáveis economicamente.

Os fatores densidade de plantio e sítio florestal são cruciais para as tomadas de decisão, visto que os regimes de desbaste resultam em produções distintas para os diferentes cenários simulados. Ao comparar os objetivos da pesquisa, a demanda pelo número de desbastes é maior quando visado o VPLA ótimo, considerando regimes equivalentes em sítio e densidade de plantio.

Esta pesquisa deixou evidenciado que em sítios superiores há uma maior demanda por desbastes, em comparação aos sítios pouco produtivos. Uma tabela com limites de sítios florestais para *Pinus taeda*, nos estados do Paraná e Santa Catarina, pode ser consultada no Capítulo I deste trabalho.

Nas recomendações feitas a seguir, o primeiro desbaste é do tipo misto, com retirada de uma a cada cinco linhas de plantio, conciliado a um desbaste por baixo com manutenção de 40%, 55% ou 70% de árvores remanescentes. Os segundos e terceiros desbastes são do tipo por baixo, com manutenção de árvores conforme essas porcentagens.

Assim, ao visar o VPLA ótimo, as recomendações são:

Plantios com 1.600 plantas por hectare, independente do sítio.

Para regimes em sítios I e II, com corte raso entre 12 e 15 anos, recomenda-se a aplicação de no máximo um desbaste. Para aqueles com corte raso entre 17 e 20 e entre 22 e 25 anos, recomenda-se dois e três desbastes, respectivamente.

Em sítio III, para regimes com corte raso entre 12 e 15 anos é dispensável o desbaste. Com corte raso entre 17 e 20 anos, a recomendação é de apenas um desbaste, ao passo que para aqueles cortados entre 22 e 25 anos, recomendam-se dois ou no máximo três desbastes.

Para regimes em sítio IV, com corte raso entre 12 e 15 anos, é dispensável o desbaste. Para regimes cortados a partir dos 17 anos de idade, recomenda-se no máximo um desbaste.

Ao visar à produção ótima em volume, as recomendações são:

Plantios com 2.500 plantas por hectare, independente do sítio.

Para regimes em sítios I e II, com corte raso entre 12 e 15 anos, recomenda-se a aplicação de no máximo um desbaste. Para aqueles com corte raso entre 17 e 20 e entre 22 e 25 anos, recomenda-se dois e três desbastes, respectivamente.

Em sítio III, aos regimes com corte raso entre 12 e 15 anos a recomendação é de no máximo um desbaste. Com corte raso entre 17 e 20 anos, a recomendação é de apenas um desbaste, ao passo que para aqueles cortados entre 22 e 25 anos, recomendam-se dois desbastes.

E, finalmente, para o sítio IV, para regimes com corte raso entre 12 e 15 anos recomenda-se nenhum ou no máximo um desbaste. Para regimes cortados a partir dos 17 anos de idade, recomenda-se apenas um desbaste.

REFERÊNCIAS

ARCE, J. E.; CARNIERI, C.; MENDES, J. B. Um sistema de programación del transporte forestal principal objetivando la minimización de costos. **Investigacion Operativa**, v. 8, n. 1, 2 y 3, p. 51-61, 1999.

ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 207-217, 2004.

DOSSA, D.; CONTO, A. J.; RODIGHERI, H.; HOEFLICH, V. A. **Aplicativo com análise de rentabilidade para sistemas de produção de florestas cultivadas e grãos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000, 56p.

FERNANDES, A. P. D.; GUIMARÃES, P. P.; BRAZ, E. M.; HOEFLICH, V. A.; ARCE, J. E. Alternativas de planejamento para a exploração florestal. **Revista Floresta**, v. 43, n. 3, p. 339-350, 2013.

GOMIDE, L. R.; ARCE, J. E.; SILVA, A. L. Efeito das restrições espaciais de adjacência no planejamento florestal otimizado. **Revista Floresta**, v. 40, n. 3, p. 573-584, 2010.

MELLO, A. A.; CARNIERI, C.; ARCE, J. E.; SANQUETTA, C. R. Planejamento florestal visando à maximização dos lucros e a manutenção do estoque de carbono. **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 205-217, 2005.

MIROV, N. T.; HASBROUCK, J. **The story of pines**. Bloomington and London: Indiana University Press., 1976, 111p.

OLIVEIRA, E. B. **Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de *Pinus taeda* L., com criterios quantitativos para a avaliação tecnica e economica de regimes de manejo**. Curitiba, 134 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080//dspace/handle/1884/25384>>. Acesso em: 20/9/2013.

PALAHÍ, M.; PUKKALA, T. Optimising the management of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Spain based on individual-tree models. **Annals of Forest Science**, v. 60, n. 2, p. 105-114, 2003.

PUKKALA, T.; MIINA, J. Tree-selection algorithms for optimizing thinning using a distance-dependent growth model. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 43, n. 8, p. 719-730.

SANQUETTA, C. R.; REZENDE, A. V.; GAIAD, 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. **Ceres**, v. 10, n. 2, p. 154-166, 2004.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. Economia florestal. 2ª edição, Viçosa: UFV, 2005, 178p.

SOALLEIRO, R. R.; ÁLVAREZ GONZALEZ, J. G.; SCHRÖDER, J. Simulation and comparison of silvicultural alternatives for even-aged *Pinus pinaster* Ait stands in Galicia (Northwestern Spain). **Annals of Forest Science**, v. 57, n. 8, p. 747-754, 2000.

SOARES, T. S.; VALLE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.

STALL, D. **Avaliação econômica e análise de sensibilidade de regimes de manejo em florestas de *Pinus taeda* L. no planalto serrano de Santa Catarina.** Curitiba, 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS HIPSOMÉTRICOS APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO I, DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA.....	139
APÊNDICE 2 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS HIPSOMÉTRICOS APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO II, DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA.....	139
APÊNDICE 3 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS HIPSOMÉTRICOS APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO III, DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA.....	140
APÊNDICE 4 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS HIPSOMÉTRICOS APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO IV, DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA.	141
APÊNDICE 5 – DISPERSÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS DA ESTIMATIVA DE alturas totais, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA	142
APÊNDICE 6 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO I, DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA.	145
APÊNDICE 7 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO II, DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA.	145
APÊNDICE 8 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO III, DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA.	146
APÊNDICE 9 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO IV, DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA.	147
APÊNDICE 10 – DISPERSÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS DA ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE <i>Pinus taeda</i> , EM SANTA CATARINA	148
APÊNDICE 11 – DESCRIÇÃO DOS REGIMES DE MANEJO FACTÍVEIS.	151

APÊNDICE 1 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS HIPSOMÉTRICOS APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO I, DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	AUTOR	a_0	a_1	a_2	$s_{yx}(\%)$	$R^2_{aj.}$	Nº
T1B1	Henricksen	-7,84141	8,52128		5,48	0,7726	1
T1B1	Assmann	28,25772	-209,60574		6,03	0,7248	2
T1B1	Trorey	11,43257	0,30877	0,00027	5,57	0,7657	3
T1B1	Curtis	3,40306	-10,51268		5,78	0,7471	4
T1B1	Naslund	-11,14710	1,54033	0,01201	5,51	0,7705	5
T1B1	Stoffels	1,59831	0,42563		5,34	0,7842	6
T2B1	Henricksen	-12,13050	10,14776		6,65	0,7446	1
T2B1	Assmann	29,76394	-225,27339		6,61	0,7473	2
T2B1	Trorey	2,34740	1,05177	-0,01280	6,72	0,7392	3
T2B1	Curtis	3,50222	-11,91209		6,61	0,7475	4
T2B1	Naslund	5,51767	0,20527	0,03458	6,67	0,7432	5
T2B1	Stoffels	1,30315	0,53150		6,78	0,7340	6
T3B1	Henricksen	-12,84545	10,19708		10,64	0,6609	1
T3B1	Assmann	27,67471	-186,22129		11,10	0,6311	2
T3B1	Trorey	2,20052	0,99119	-0,01114	10,90	0,6446	3
T3B1	Curtis	3,44420	-11,26638		10,76	0,6534	4
T3B1	Naslund	1,46887	0,63299	0,02590	10,93	0,6425	5
T3B1	Stoffels	1,00690	0,61245		10,81	0,6503	6
T4B1	Henricksen	-10,40708	9,41871		7,34	0,7363	1
T4B1	Assmann	27,00596	-174,03238		7,36	0,7347	2
T4B1	Trorey	1,48674	1,12498	-0,01530	7,43	0,7293	3
T4B1	Curtis	3,42035	-10,67222		7,26	0,7415	4
T4B1	Naslund	5,21611	0,16661	0,03835	7,33	0,7371	5
T4B1	Stoffels	1,16691	0,56464		7,67	0,7121	6
T5B1	Henricksen	-10,20180	9,31579		7,36	0,7524	1
T5B1	Assmann	26,28967	-160,80386		8,15	0,6966	2
T5B1	Trorey	5,20136	0,74763	-0,00664	7,47	0,7450	3
T5B1	Curtis	3,37273	-9,72753		7,61	0,7353	4
T5B1	Naslund	-0,35179	0,75608	0,02449	7,41	0,7487	5
T5B1	Stoffels	1,21840	0,54661		7,38	0,7510	6

Letras “T” e “B”: tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i : parâmetros do modelo; $s_{yx}\%$: erro padrão da estimativa, em porcentagem; $R^2_{aj.}$: coeficiente de determinação ajustado.

APÊNDICE 2 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS HIPSOMÉTRICOS APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO II, DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	AUTOR	a_0	a_1	a_2	$s_{yx}(\%)$	$R^2_{aj.}$	Nº
T1B2	Henricksen	1,72662	5,16081		5,81	0,4880	1
T1B2	Assmann	23,19776	-118,76807		5,96	0,4607	2
T1B2	Trorey	12,05354	0,28721	-0,00154	5,82	0,4853	3
T1B2	Curtis	3,17425	-6,56494		5,91	0,4699	4
T1B2	Naslund	-5,36312	0,89779	0,03159	5,83	0,4846	5
T1B2	Stoffels	1,99445	0,28309		5,79	0,4912	6
T2B2	Henricksen	-1,24253	6,05250		6,77	0,5132	1

continua

							conclusão
T2B2	Assmann	23,96494	-139,95219		6,80	0,5087	2
T2B2	Trorey	6,69073	0,66881	-0,00813	6,74	0,5176	3
T2B2	Curtis	3,22642	-8,00888		6,76	0,5148	4
T2B2	Naslund	0,89874	0,45128	0,03934	6,77	0,5134	5
T2B2	Stoffels	1,79435	0,34311		6,82	0,5056	6
T3B2	Henricksen	-0,78367	5,79846		5,36	0,6301	1
T3B2	Assmann	23,06378	-126,54442		5,34	0,6327	2
T3B2	Trorey	6,81116	0,65269	-0,00826	5,36	0,6303	3
T3B2	Curtis	3,19056	-7,58674		5,32	0,6361	4
T3B2	Naslund	2,12630	0,32321	0,04368	5,33	0,6351	5
T3B2	Stoffels	1,77574	0,34299		5,44	0,6200	6
T4B2	Henricksen	-0,33695	5,68482		4,61	0,7418	1
T4B2	Assmann	22,13168	-102,40321		4,80	0,7211	2
T4B2	Trorey	6,46966	0,70068	-0,00946	4,65	0,7375	3
T4B2	Curtis	3,15511	-6,60947		4,58	0,7457	4
T4B2	Naslund	1,10073	0,37595	0,04300	4,56	0,7480	5
T4B2	Stoffels	1,74729	0,35355		4,79	0,7222	6
T5B2	Henricksen	-1,62856	6,12956		5,77	0,6826	1
T5B2	Assmann	22,55333	-111,26826		5,89	0,6693	2
T5B2	Trorey	5,96313	0,74105	-0,01006	5,79	0,6801	3
T5B2	Curtis	3,18295	-7,17980		5,74	0,6860	4
T5B2	Naslund	1,41843	0,37347	0,04219	5,73	0,6872	5
T5B2	Stoffels	1,65565	0,38487		5,92	0,6658	6

Letras "T" e "B": tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i : parâmetros do modelo; $s_{yx}\%$: erro padrão da estimativa, em porcentagem; R^2_{aj} : coeficiente de determinação ajustado.

APÊNDICE 3 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS HIPNOMÉTRICOS APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO III, DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	AUTOR	a_0	a_1	a_2	$S_{yx}(\%)$	R^2_{aj}	Nº
T1B3	Henricksen	-3,14129	6,18198		9,01	0,6484	1
T1B3	Assmann	21,68348	-118,13449		8,80	0,6643	2
T1B3	Trorey	3,47403	0,83740	-0,01177	8,82	0,6630	3
T1B3	Curtis	3,14936	-8,13163		8,77	0,6667	4
T1B3	Naslund	5,24145	0,09624	0,05151	8,80	0,6645	5
T1B3	Stoffels	1,46676	0,41719		9,37	0,6195	6
T2B3	Henricksen	0,09964	5,06893		7,71	0,5780	1
T2B3	Assmann	20,33286	-95,73218		7,24	0,6278	2
T2B3	Trorey	3,17315	0,92466	-0,01530	7,17	0,6352	3
T2B3	Curtis	3,07726	-6,88612		7,35	0,6162	4
T2B3	Naslund	6,98697	-0,22393	0,06328	7,16	0,6356	5
T2B3	Stoffels	1,64367	0,35762		8,04	0,5410	6

continua

						conclusão	
T3B3	Henricksen	-2,53343	5,94803		7,43	0,6717	1
T3B3	Assmann	20,71687	-102,67905		7,49	0,6663	2
T3B3	Trorey	4,28084	0,77363	-0,01098	7,40	0,6743	3
T3B3	Curtis	3,10589	-7,41946		7,32	0,6815	4
T3B3	Naslund	3,09875	0,27731	0,04903	7,31	0,6821	5
T3B3	Stoffels	1,45715	0,41963		7,71	0,6465	6
T4B3	Henricksen	-3,71220	6,34661		6,17	0,7213	1
T4B3	Assmann	20,23464	-92,72970		6,22	0,7165	2
T4B3	Trorey	2,62762	0,92972	-0,01455	6,24	0,7147	3
T4B3	Curtis	3,12271	-7,75389		6,02	0,7345	4
T4B3	Naslund	3,54756	0,22865	0,05028	6,04	0,7327	5
T4B3	Stoffels	1,20753	0,50227		6,75	0,6658	6
T5B3	Henricksen	-2,13071	5,85662		6,51	0,6875	1
T5B3	Assmann	19,95221	-85,91184		6,48	0,6904	2
T5B3	Trorey	2,33131	1,01190	-0,01736	6,36	0,7018	3
T5B3	Curtis	3,09952	-7,15630		6,26	0,7109	4
T5B3	Naslund	4,57405	0,04808	0,05594	6,23	0,7139	5
T5B3	Stoffels	1,35622	0,45623		7,08	0,6297	6

Letras "T" e "B": tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i : parâmetros do modelo; $s_{yx}\%$: erro padrão da estimativa, em porcentagem; R^2_{aj} : coeficiente de determinação ajustado.

APÊNDICE 4 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS HIPSONÔMETRICOS APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO IV, DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

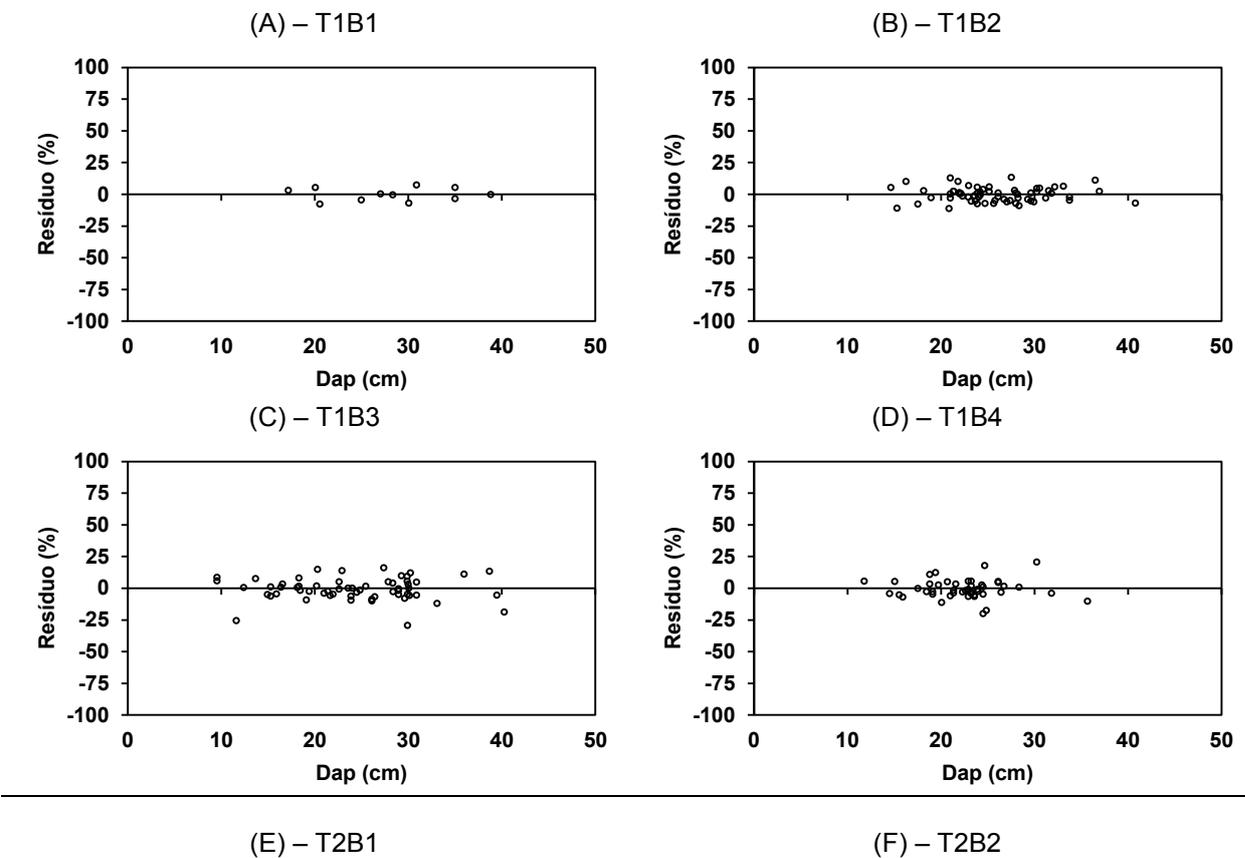
PARCELA	AUTOR	a_0	a_1	a_2	$s_{yx}(\%)$	R^2_{aj}	Nº
T1B4	Henricksen	-1,45876	5,16679		8,23	0,4215	1
T1B4	Assmann	19,16600	-100,23555		8,38	0,3992	2
T1B4	Trorey	6,42192	0,48671	-0,00542	8,28	0,4140	3
T1B4	Curtis	2,99414	-6,99356		8,31	0,4089	4
T1B4	Naslund	-3,33163	0,98008	0,03822	8,30	0,4112	5
T1B4	Stoffels	1,56584	0,35703		8,23	0,4213	6
T2B4	Henricksen	3,51913	3,56198		11,01	0,1748	1
T2B4	Assmann	18,17814	-77,83549		10,79	0,2062	2
T2B4	Trorey	6,39482	0,57436	-0,00897	11,27	0,1353	3
T2B4	Curtis	2,92473	-5,45704		10,86	0,1959	4
T2B4	Naslund	13,59610	-0,88956	0,08603	10,88	0,1929	5
T2B4	Stoffels	1,90760	0,24628		11,08	0,1640	6
T3B4	Henricksen	-3,55740	5,79401		6,58	0,6168	1
T3B4	Assmann	19,35779	-108,03243		6,49	0,6281	2
T3B4	Trorey	3,58812	0,72045	-0,01038	6,69	0,6042	3
T3B4	Curtis	3,04710	-8,37738		6,52	0,6241	4
T3B4	Naslund	5,18419	0,18861	0,05686	6,59	0,6157	5

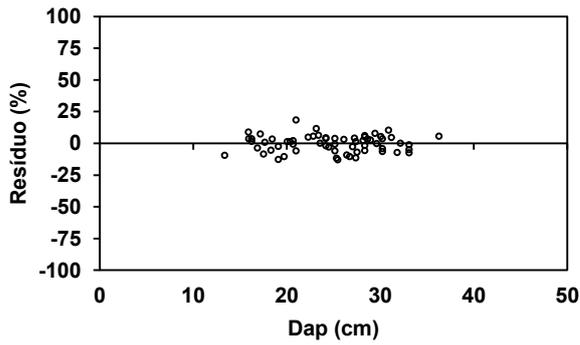
continua

						conclusão	
T3B4	Stoffels	1,28958	0,44295		6,71	0,6022	6
T4B4	Henricksen	-1,79750	5,23200		7,33	0,5736	1
T4B4	Assmann	17,95806	-78,15114		6,61	0,6532	2
T4B4	Trorey	-0,42816	1,22575	-0,02472	6,46	0,6688	3
T4B4	Curtis	2,99702	-7,24895		6,89	0,6224	4
T4B4	Naslund	8,19926	-0,42019	0,07839	6,63	0,6504	5
T4B4	Stoffels	1,19547	0,47510		8,04	0,4858	6
T5B4	Henricksen	-3,50212	5,75653		6,59	0,6864	1
T5B4	Assmann	18,11743	-83,62571		6,24	0,7192	2
T5B4	Trorey	0,29334	1,10419	-0,02098	6,49	0,6967	3
T5B4	Curtis	3,01555	-7,79353		6,34	0,7100	4
T5B4	Naslund	7,22623	-0,17279	0,06955	6,31	0,7126	5
T5B4	Stoffels	1,05298	0,51921		7,19	0,6269	6

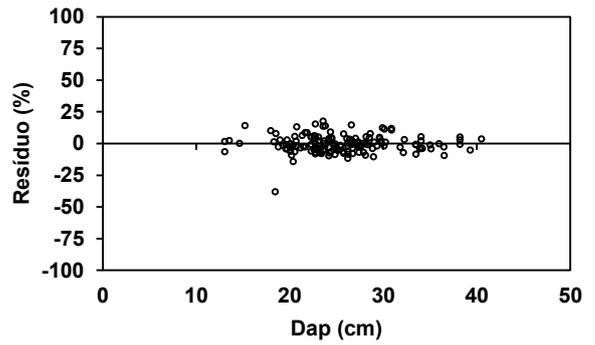
Letras “T” e “B”: tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i: parâmetros do modelo; s_{yx}%: erro padrão da estimativa, em porcentagem; R²_{aj}: coeficiente de determinação ajustado.

APÊNDICE 5 – DISPERSÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS DA ESTIMATIVA DE ALTURAS TOTAIS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

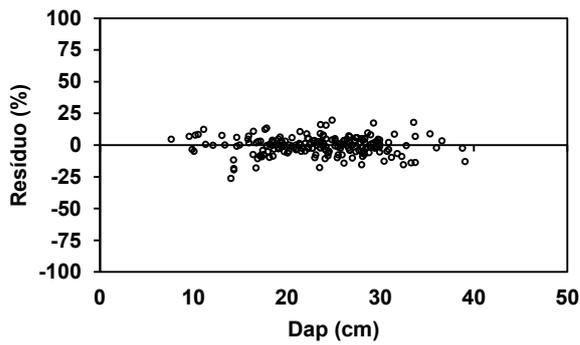




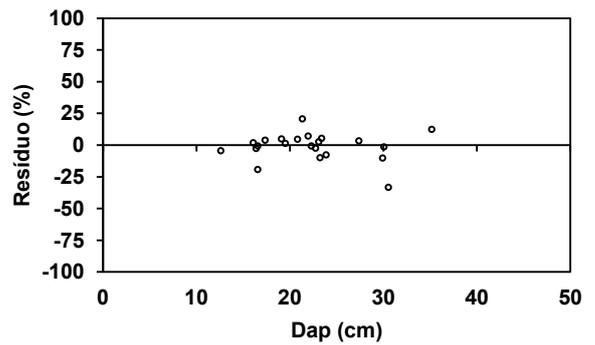
(G) – T2B3



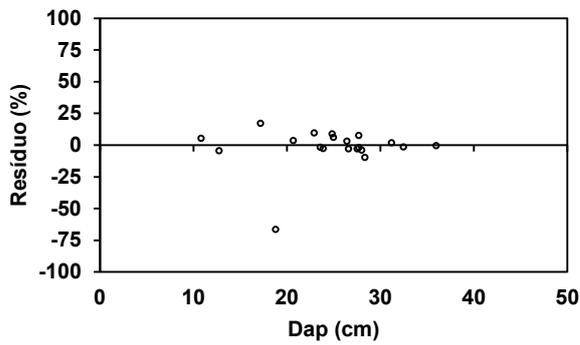
(H) – T2B4



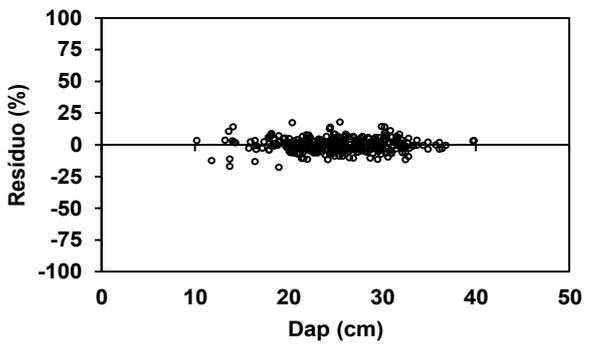
(I) – T3B1



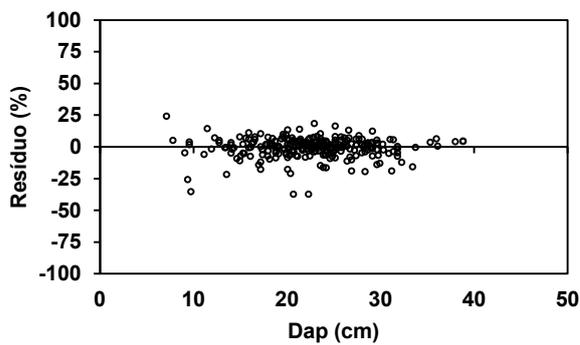
(J) – T3B2



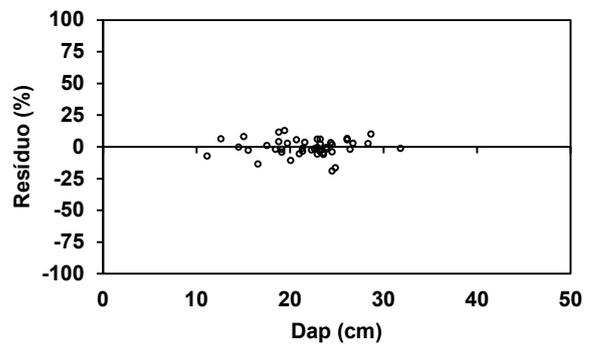
(K) – T3B3



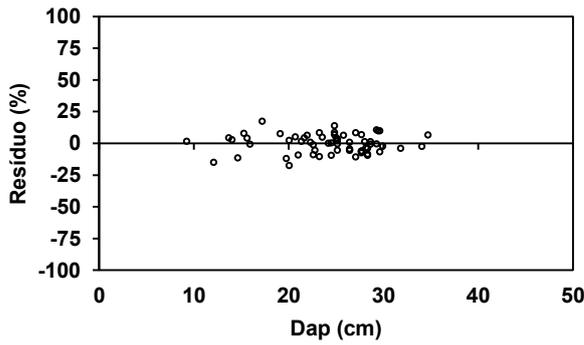
(L) – T3B4



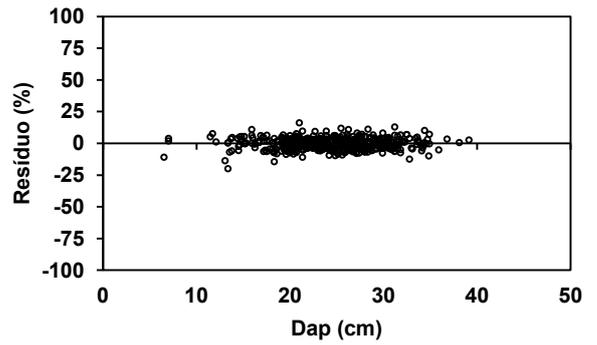
(M) – T4B1



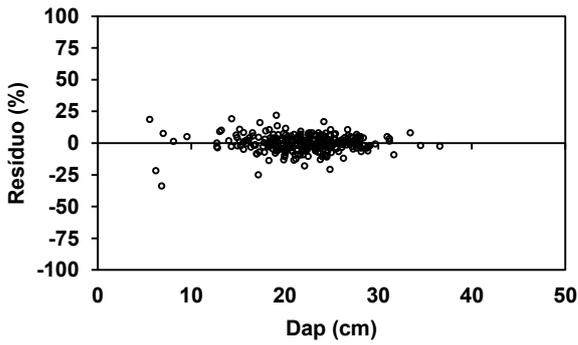
(N) – T4B2



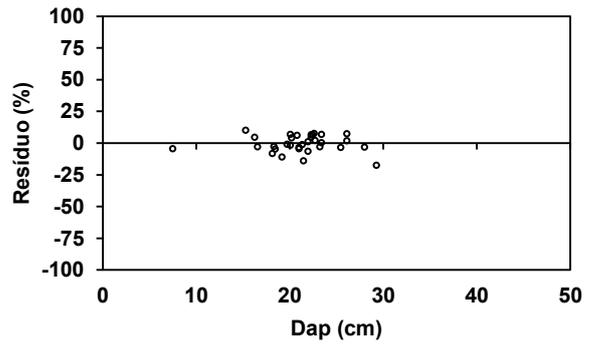
(O) – T4B3



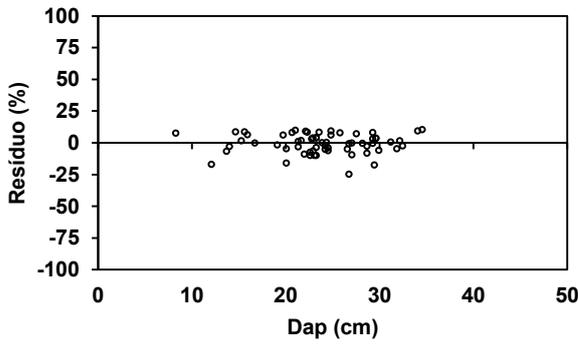
(P) – T4B4



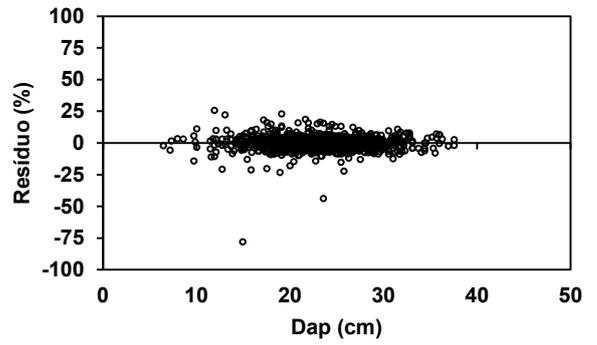
(Q) – T5B1



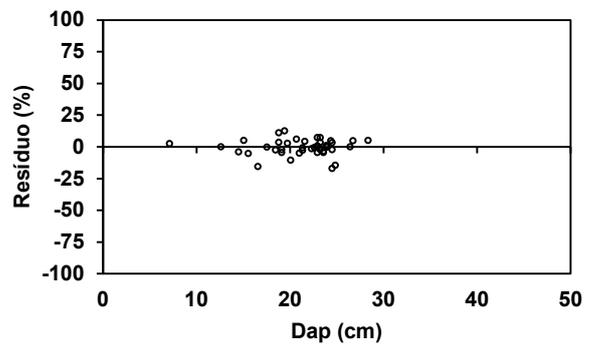
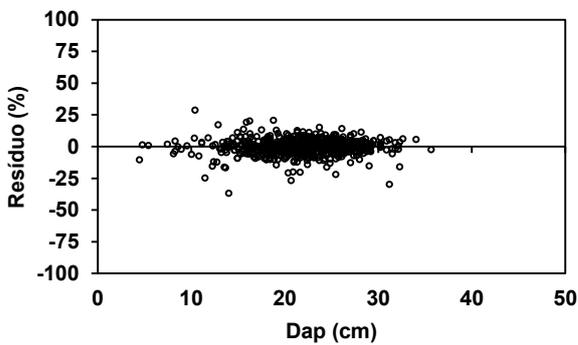
(R) – T5B2



(S) – T5B3



(T) – T5B4



APÊNDICE 6 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO I, DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	AUTOR	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	s _{yx} %	R ² _{aj.}	Nº
T1B1	Spurr	0,03801	0,00003				8,56	0,9713	7
T1B1	Schumacher-Hall	-8,79875	2,16874	0,33403			8,07	0,9745	8
T1B1	Stoate	0,06014	0,06014	0,00002	-0,00555		8,70	0,9704	9
T1B1	Naslund	-	0,00030	0,00003	-0,00003	0,00025	8,55	0,9714	10
T1B1	Spurr logarítmico	-9,74869	0,94866				8,58	0,9712	11
T1B1	Husch	-8,26487	2,31091				7,67	0,9770	12
T2B1	Spurr	0,02369	0,00003				12,04	0,9405	7
T2B1	Schumacher-Hall	-10,81429	1,91385	1,29264			12,86	0,9321	8
T2B1	Stoate	-0,24112	0,00054	0,00001	0,01284		11,80	0,9428	9
T2B1	Naslund	-	0,00030	0,00002	0,00001	-0,00017	11,98	0,9411	10
T2B1	Spurr logarítmico	-10,40985	1,02060				12,25	0,9384	11
T2B1	Husch	-9,12980	2,60088				13,53	0,9248	12
T3B1	Spurr	0,01355	0,00004				9,91	0,9631	7
T3B1	Schumacher-Hall	-9,91579	1,79760	1,13217			9,95	0,9627	8
T3B1	Stoate	-0,14694	0,00041	0,00002	0,00815		10,48	0,9587	9
T3B1	Naslund	-	0,00005	0,00004	-0,00001	0,00018	10,11	0,9615	10
T3B1	Spurr logarítmico	-11,22621	1,10694				12,14	0,9445	11
T3B1	Husch	-8,77582	2,49099				11,94	0,9463	12
T4B1	Spurr	0,04540	0,00003				9,39	0,9505	7
T4B1	Schumacher-Hall	-10,38596	1,75658	1,31479			10,18	0,9419	8
T4B1	Stoate	-0,13851	0,00028	0,00002	0,01080		8,64	0,9581	9
T4B1	Naslund	-	0,00061	-0,00002	0,00006	-0,00051	8,58	0,9587	10
T4B1	Spurr logarítmico	-9,82785	0,95696				9,66	0,9476	11
T4B1	Husch	-8,85171	2,49896				13,37	0,8997	12
T5B1	Spurr	0,05355	0,00003				10,86	0,9443	7
T5B1	Schumacher-Hall	-10,14572	2,05947	0,92007			13,92	0,9086	8
T5B1	Stoate	-0,15183	0,00031	0,00001	0,01160		9,90	0,9537	9
T5B1	Naslund	-	0,00114	-0,00008	0,00012	-0,00127	8,85	0,9630	10
T5B1	Spurr logarítmico	-9,97572	0,97443				11,95	0,9325	11
T5B1	Husch	-9,02470	2,56240				15,33	0,8891	12

Letras “T” e “B”: tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i: parâmetros do modelo; s_{yx}%: erro padrão da estimativa, em porcentagem; R²_{aj.}: coeficiente de determinação ajustado.

APÊNDICE 7 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO II, DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	AUTOR	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	s _{yx} %	R ² _{aj.}	Nº
T1B2	Spurr	-0,01483	0,00004				8,83	0,9636	7
T1B2	Schumacher-Hall	-9,88689	1,87596	1,00696			10,17	0,9517	8
T1B2	Stoate	0,28342	-0,00051	0,00006	-0,01546		8,34	0,9675	9

continua

										conclusão
T1B2	Naslund	-	-0,00050	0,00008	-0,00006	0,00070	8,55	0,9659	10	
T1B2	Spurr logarítmico	-9,79028	0,94913				10,12	0,9522	11	
T1B2	Husch	-8,07995	2,22523				13,67	0,9128	12	
T2B2	Spurr	0,00766	0,00003				9,16	0,9612	7	
T2B2	Schumacher-Hall	-9,77986	1,64251	1,24135			10,30	0,9509	8	
T2B2	Stoate	0,13186	-0,00065	0,00006	-0,00365		7,75	0,9722	9	
T2B2	Naslund	-	-0,00063	0,00008	-0,00004	0,00075	7,97	0,9706	10	
T2B2	Spurr logarítmico	-10,01860	0,97580				9,26	0,9604	11	
T2B2	Husch	-7,61692	2,08808				13,73	0,9128	12	
T3B2	Spurr	0,02545	0,00003				9,46	0,9372	7	
T3B2	Schumacher-Hall	-9,40203	1,58594	1,16386			9,45	0,9372	8	
T3B2	Stoate	0,06170	-0,00060	0,00006	0,00124		7,99	0,9551	9	
T3B2	Naslund	-	-0,00033	0,00004	0,00001	0,00017	8,20	0,9527	10	
T3B2	Spurr logarítmico	-9,57974	0,92601				9,56	0,9357	11	
T3B2	Husch	-7,37895	2,00146				13,25	0,8766	12	
T4B2	Spurr	0,01954	0,00003				7,87	0,9580	7	
T4B2	Schumacher-Hall	-7,55382	1,88974	0,18430			10,11	0,9308	8	
T4B2	Stoate	0,06942	-0,00023	0,00004	-0,00206		7,74	0,9594	9	
T4B2	Naslund	-	-0,00024	0,00005	-0,00002	0,00041	7,83	0,9585	10	
T4B2	Spurr logarítmico	-9,76617	0,94657				7,96	0,9570	11	
T4B2	Husch	-7,21738	1,95049				10,42	0,9263	12	
T5B2	Spurr	0,01867	0,00003				9,14	0,9517	7	
T5B2	Schumacher-Hall	-8,21375	1,78184	0,53478			11,57	0,9227	8	
T5B2	Stoate	0,11752	-0,00048	0,00006	-0,00366		8,51	0,9582	9	
T5B2	Naslund	-	-0,00042	0,00007	-0,00003	0,00058	8,77	0,9556	10	
T5B2	Spurr logarítmico	-9,49859	0,91873				9,54	0,9474	11	
T5B2	Husch	-7,33328	1,98987				12,65	0,9076	12	

Letras “T” e “B”: tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i : parâmetros do modelo; $s_{yx}\%$: erro padrão da estimativa, em porcentagem; $R^2_{aj.}$: coeficiente de determinação ajustado.

APÊNDICE 8 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO III, DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	AUTOR	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	$s_{yx}\%$	$R^2_{aj.}$	Nº
T1B3	Spurr	0,03910	0,00003				10,35	0,9640	7
T1B3	Schumacher-Hall	-7,90453	1,95769	0,21462			8,52	0,9756	8
T1B3	Stoate	0,04379	0,00042	0,00001	-0,00350		8,17	0,9776	9
T1B3	Naslund	-	0,00003	0,00006	-0,00007	0,00083	7,12	0,9830	10
T1B3	Spurr logarítmico	-9,62351	0,92986				11,55	0,9551	11
T1B3	Husch	-7,62720	2,06071				8,34	0,9766	12
T2B3	Spurr	0,04081	0,00003				7,69	0,9658	7
T2B3	Schumacher-Hall	-9,05222	1,56061	1,06951			6,92	0,9723	8
T2B3	Stoate	-0,12469	0,00023	0,00001	0,01179		7,02	0,9714	9
T2B3	Naslund	-	0,00039	-0,00001	0,00004	-0,00021	6,90	0,9725	10
T2B3	Spurr logarítmico	-9,88052	0,96067				9,36	0,9492	11
T2B3	Husch	-7,74105	2,09613				10,13	0,9406	12

continua

							conclusão		
T3B3	Spurr	0,02724	0,00003				7,93	0,9724	7
T3B3	Schumacher-Hall	-9,58744	1,73734	1,06300			8,45	0,9687	8
T3B3	Stoate	-0,03054	0,00021	0,00002	0,00323		7,80	0,9733	9
T3B3	Naslund	-	-0,00001	0,00005	-0,00004	0,00055	7,54	0,9750	10
T3B3	Spurr logarítmico	-9,78517	0,94967				8,39	0,9691	11
T3B3	Husch	-8,25883	2,25661				9,41	0,9611	12
T4B3	Spurr	0,03175	0,00003				6,36	0,9689	7
T4B3	Schumacher-Hall	-9,63653	1,69289	1,13739			6,49	0,9676	8
T4B3	Stoate	-0,02187	0,00018	0,00002	0,00329		6,17	0,9707	9
T4B3	Naslund	-	0,00025	0,00001	0,00001	0,00002	6,17	0,9707	10
T4B3	Spurr logarítmico	-9,70500	0,94351				6,70	0,9655	11
T4B3	Husch	-8,59553	2,37177				8,67	0,9423	12
T5B3	Spurr	0,03924	0,00003				6,84	0,9685	7
T5B3	Schumacher-Hall	-8,84384	1,72277	0,81649			6,54	0,9712	8
T5B3	Stoate	-0,03752	0,00021	0,00002	0,00477		6,57	0,9710	9
T5B3	Naslund	-	0,00034	4,24E-06	0,00002	-0,00008	6,52	0,9715	10
T5B3	Spurr logarítmico	-9,03410	0,86842				6,57	0,9710	11
T5B3	Husch	-7,98947	2,17889				8,63	0,9500	12

Letras “T” e “B”: tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i : parâmetros do modelo; $s_{yx}\%$: erro padrão da estimativa, em porcentagem; R^2_{aj} : coeficiente de determinação ajustado.

APÊNDICE 9 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DOS SEIS MODELOS DE VOLUME INDIVIDUAL APLICADOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS EM SÍTIO IV, DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

PARCELA	AUTOR	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	$s_{yx}\%$	R^2_{aj}	Nº
T1B4	Spurr	0,00765	0,00004				6,46	0,9793	7
T1B4	Schumacher-Hall	-10,01321	2,18683	0,73158			6,09	0,9816	8
T1B4	Stoate	-0,00784	0,00014	0,00003	-0,00038		6,30	0,9803	9
T1B4	Naslund	-	0,00010	0,00004	-4E-06	-6,5E-05	6,26	0,9806	10
T1B4	Spurr logarítmico	-10,66670	1,05758				8,23	0,9664	11
T1B4	Husch	-8,93717	2,47592				10,41	0,9463	12
T2B4	Spurr	-0,01917	0,00004				9,80	0,9651	7
T2B4	Schumacher-Hall	-12,10275	2,65504	0,99583			12,38	0,9443	8
T2B4	Stoate	-0,30639	0,00102	-0,00002	0,01957		7,90	0,9773	9
T2B4	Naslund	-	-0,00049	0,00011	-0,00009	0,00062	9,48	0,9673	10
T2B4	Spurr logarítmico	-12,26735	1,24332				12,73	0,9411	11
T2B4	Husch	-11,23837	3,26292				13,23	0,9364	12
T3B4	Spurr	0,02938	0,00003				9,60	0,9271	7
T3B4	Schumacher-Hall	-11,13968	1,96988	1,40156			14,41	0,8359	8
T3B4	Stoate	-0,13060	0,00061	0,00000	0,00978		7,04	0,9608	9
T3B4	Naslund	-	0,00106	-9E-05	0,00015	-2E-03	7,88	0,9509	10
T3B4	Spurr logarítmico	-9,68223	0,94498				9,50	0,9287	11

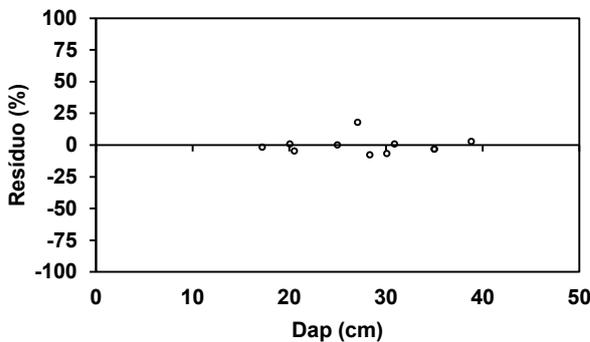
continua

							conclusão		
T3B4	Husch	-9,80510	2,75216				13,04	0,8655	12
T4B4	Spurr	-0,00478	0,00004				7,55	0,9520	7
T4B4	Schumacher-Hall	-11,66274	2,01265	1,54250			8,95	0,9326	8
T4B4	Stoate	-0,01558	-0,00010	0,00004	0,00180		8,17	0,9439	9
T4B4	Naslund	-	-0,00055	0,00012	-0,00011	0,00103	7,69	0,9503	10
T4B4	Spurr logarítmico	-10,68948	1,05710				7,65	0,9508	11
T4B4	Husch	-10,27013	2,90444				10,46	0,9081	12
T5B4	Spurr	-0,00329	0,00004				6,98	0,9622	7
T5B4	Schumacher-Hall	-10,91859	2,16462	1,09729			7,29	0,9587	8
T5B4	Stoate	-0,00339	0,00008	0,00004	-0,00041		7,23	0,9594	9
T5B4	Naslund	-	0,00003	0,00004	-0,00001	-1E-06	7,18	0,9599	10
T5B4	Spurr logarítmico	-10,22863	1,00825				7,02	0,9617	11
T5B4	Husch	-10,12542	2,85942				9,38	0,9317	12

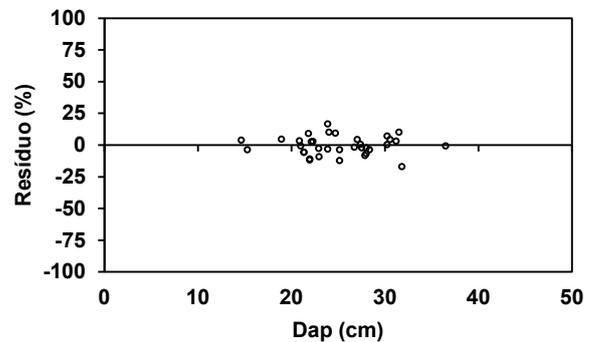
Letras “T” e “B”: tratamento e bloco, respectivamente; coeficientes em **negrito** são estatisticamente significativos pelo teste F de Fisher, a 95% de probabilidade; a_i: parâmetros do modelo; s_{yx}%: erro padrão da estimativa, em porcentagem; R²_{aj}: coeficiente de determinação ajustado.

APÊNDICE 10 – DISPERSÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS DA ESTIMATIVA DE VOLUMES INDIVIDUAIS, EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE *Pinus taeda*, EM SANTA CATARINA.

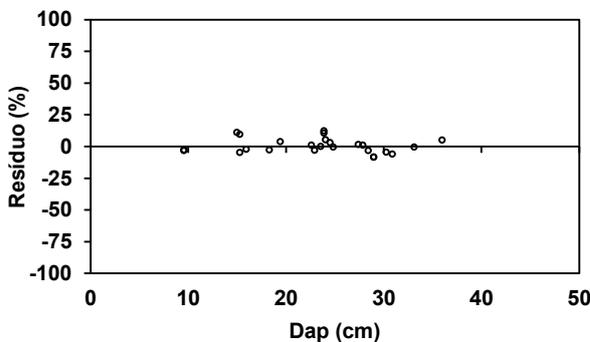
(A) – T1B1



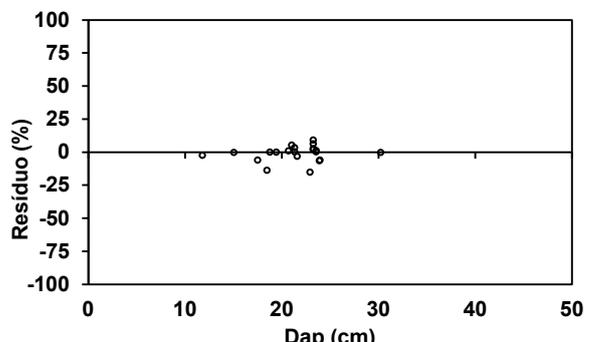
(B) – T1B2



(C) – T1B3

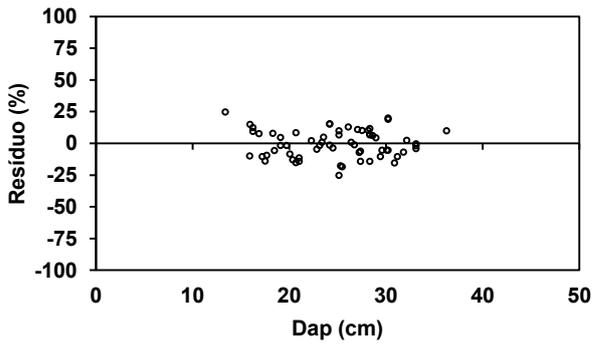


(D) – T1B4

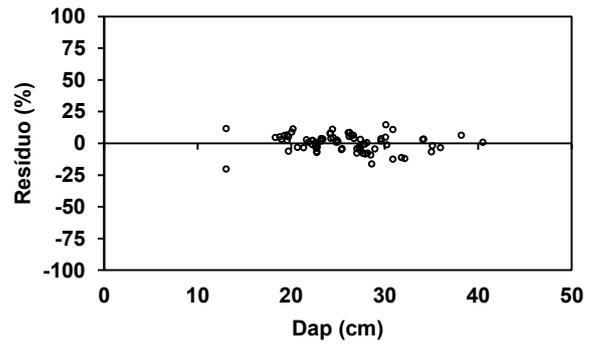


(E) – T2B1

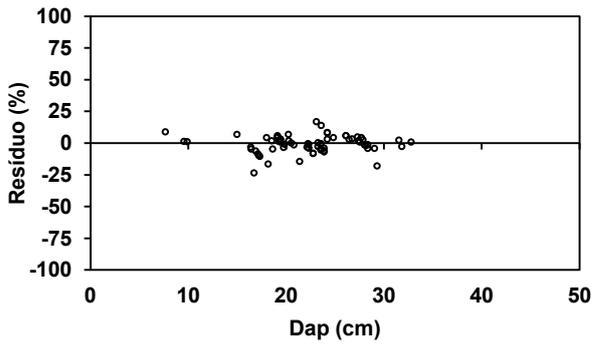
(F) – T2B2



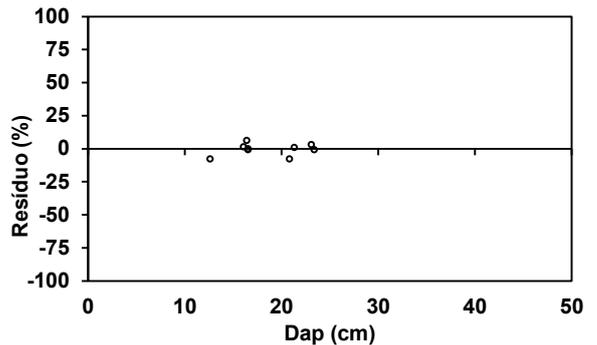
(G) – T2B3



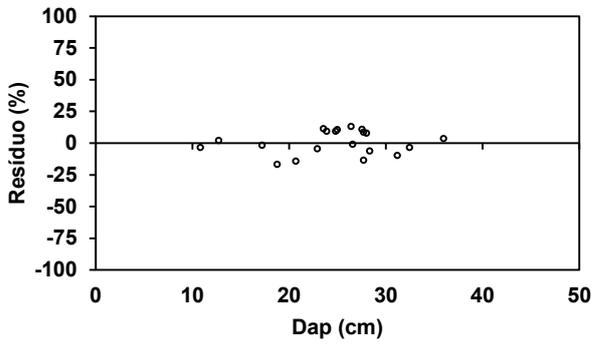
(H) – T2B4



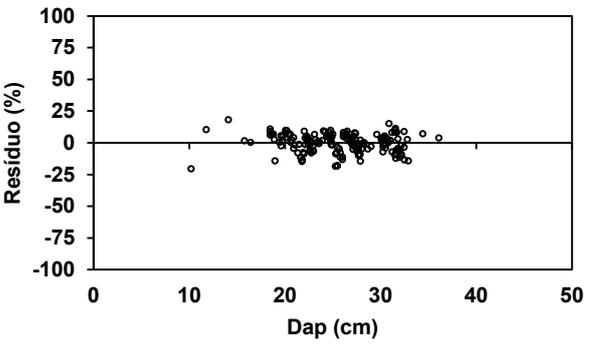
(I) – T3B1



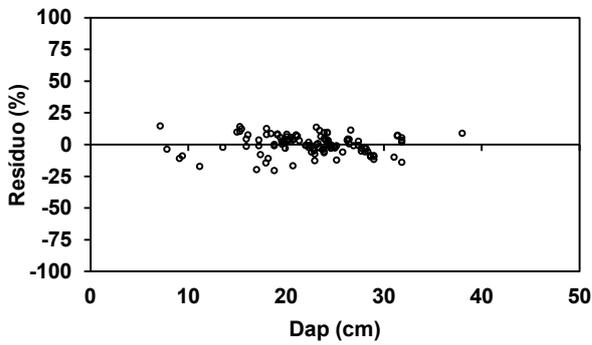
(J) – T3B2



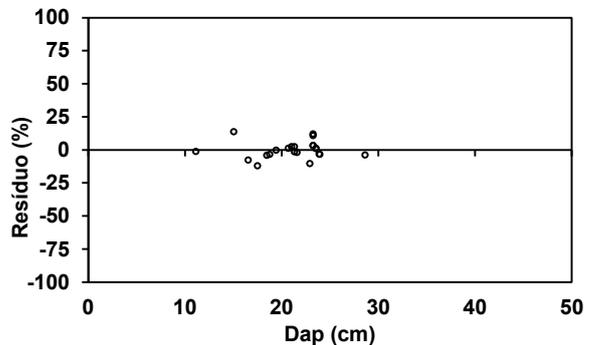
(K) – T3B3



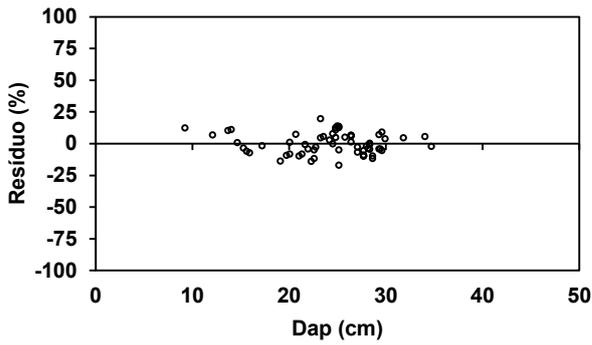
(L) – T3B4



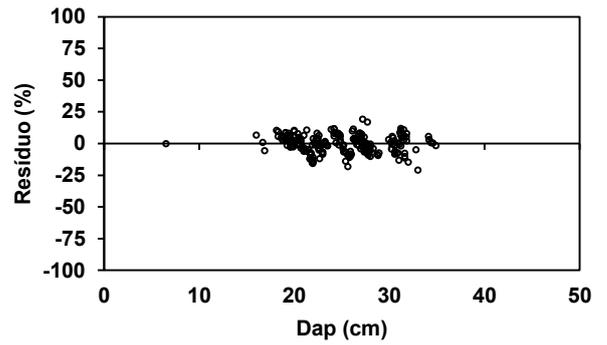
(M) – T4B1



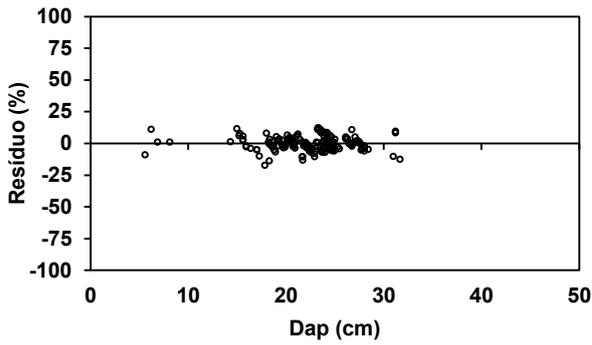
(N) – T4B2



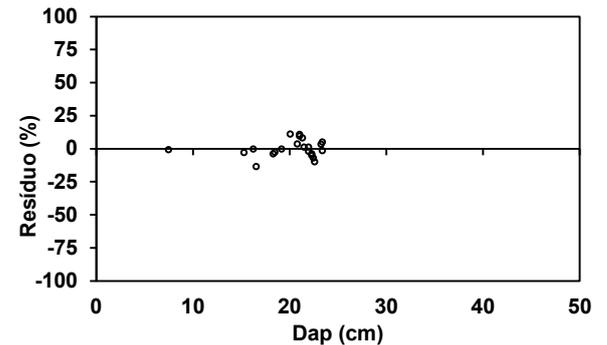
(O) - T4B3



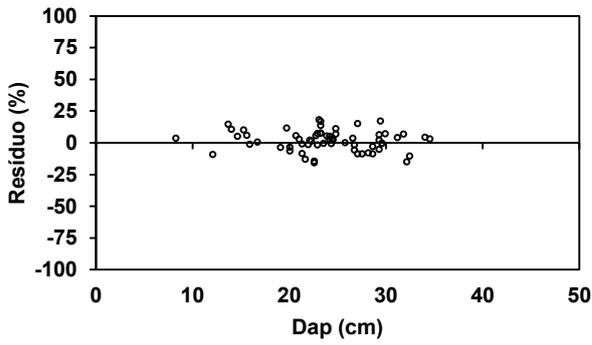
(P) - T4B4



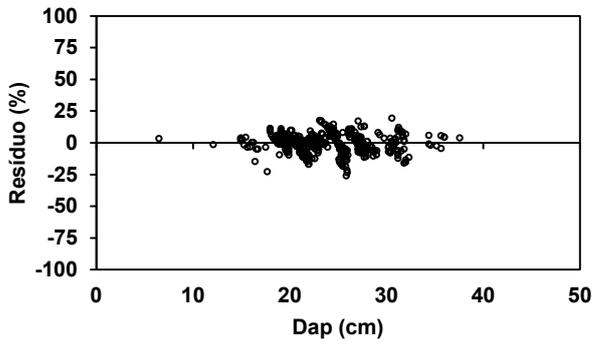
(Q) - T5B1



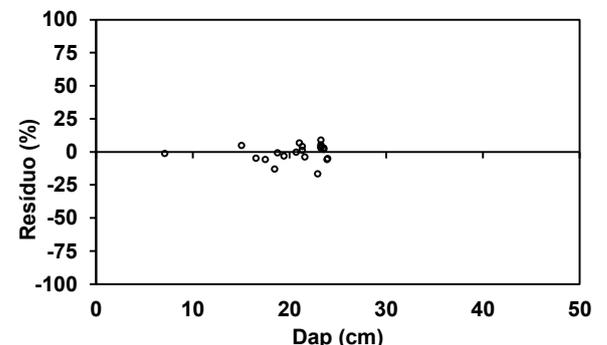
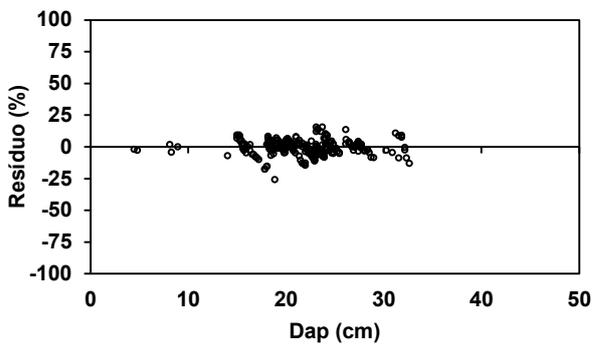
(R) - T5B2



(S) - T5B3



(T) - T5B4



APÊNDICE 11 – DESCRIÇÃO DOS REGIMES DE MANEJO FACTÍVEIS.

REGIME DE MANEJO	ESPAÇAMENTO	DESBASTE			CORTE RASO
		7 A 9 ANOS	13 A 15 ANOS	18 A 20 ANOS	
1	PL_11				CR_12-15
2	PL_11				CR_17-20
3	PL_11				CR_22-25
⋮	⋮				⋮
12	PL_25				CR_22-25
13	PL_11	D1_40			CR_12-15
14	PL_11	D1_40			CR_17-20
15	PL_11	D1_40			CR_22-25
16	PL_11	D1_55			CR_12-15
17	PL_11	D1_55			CR_17-20
18	PL_11	D1_55			CR_22-25
19	PL_11	D1_70			CR_12-15
20	PL_11	D1_70			CR_17-20
21	PL_11	D1_70			CR_22-25
22	PL_11		D2_40		CR_17-20
23	PL_11		D2_40		CR_22-25
24	PL_11		D2_55		CR_17-20
25	PL_11		D2_55		CR_22-25
26	PL_11		D2_70		CR_17-20
27	PL_11		D2_70		CR_22-25
28	PL_11			D3_40	CR_22-25
29	PL_11			D3_55	CR_22-25
30	PL_11			D3_70	CR_22-25
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
84	PL_25			D3_70	CR_22-25
85	PL_11	D1_40	D2_40		CR_17-20
86	PL_11	D1_40	D2_55		CR_17-20
87	PL_11	D1_40	D2_70		CR_17-20
88	PL_11	D1_55	D2_40		CR_17-20
89	PL_11	D1_55	D2_55		CR_17-20
90	PL_11	D1_55	D2_70		CR_17-20
91	PL_11	D1_70	D2_40		CR_17-20
92	PL_11	D1_70	D2_55		CR_17-20
93	PL_11	D1_70	D2_70		CR_17-20
94	PL_11	D1_40	D2_40		CR_22-25
95	PL_11	D1_40	D2_55		CR_22-25
96	PL_11	D1_40	D2_70		CR_22-25
97	PL_11	D1_40		D3_40	CR_22-25
98	PL_11	D1_40		D3_55	CR_22-25
99	PL_11	D1_40		D3_70	CR_22-25
100	PL_11	D1_55	D2_40		CR_22-25
101	PL_11	D1_55	D2_55		CR_22-25
102	PL_11	D1_55	D2_70		CR_22-25
103	PL_11	D1_55		D3_40	CR_22-25
104	PL_11	D1_55		D3_55	CR_22-25
105	PL_11	D1_55		D3_70	CR_22-25
106	PL_11	D1_70	D2_40		CR_22-25
107	PL_11	D1_70	D2_55		CR_22-25
108	PL_11	D1_70	D2_70		CR_22-25
109	PL_11	D1_70		D3_40	CR_22-25

continua

					conclusão
110	PL_11	D1_70		D3_55	CR_22-25
111	PL_11	D1_70		D3_70	CR_22-25
112	PL_11		D2_40	D3_40	CR_22-25
113	PL_11		D2_40	D3_55	CR_22-25
114	PL_11		D2_40	D3_70	CR_22-25
115	PL_11		D2_55	D3_40	CR_22-25
116	PL_11		D2_55	D3_55	CR_22-25
117	PL_11		D2_55	D3_70	CR_22-25
118	PL_11		D2_70	D3_40	CR_22-25
119	PL_11		D2_70	D3_55	CR_22-25
120	PL_11		D2_70	D3_70	CR_22-25
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
228	PL_25		D2_70	D3_70	CR_22-25
229	PL_11	D1_40	D2_40	D3_40	CR_22-25
230	PL_11	D1_40	D2_40	D3_55	CR_22-25
231	PL_11	D1_40	D2_40	D3_70	CR_22-25
232	PL_11	D1_40	D2_55	D3_40	CR_22-25
233	PL_11	D1_40	D2_55	D3_55	CR_22-25
234	PL_11	D1_40	D2_55	D3_70	CR_22-25
235	PL_11	D1_40	D2_70	D3_40	CR_22-25
236	PL_11	D1_40	D2_70	D3_55	CR_22-25
237	PL_11	D1_40	D2_70	D3_70	CR_22-25
238	PL_11	D1_55	D2_40	D3_40	CR_22-25
239	PL_11	D1_55	D2_40	D3_55	CR_22-25
240	PL_11	D1_55	D2_40	D3_70	CR_22-25
241	PL_11	D1_55	D2_55	D3_40	CR_22-25
242	PL_11	D1_55	D2_55	D3_55	CR_22-25
243	PL_11	D1_55	D2_55	D3_70	CR_22-25
244	PL_11	D1_55	D2_70	D3_40	CR_22-25
245	PL_11	D1_55	D2_70	D3_55	CR_22-25
246	PL_11	D1_55	D2_70	D3_70	CR_22-25
247	PL_11	D1_70	D2_40	D3_40	CR_22-25
248	PL_11	D1_70	D2_40	D3_55	CR_22-25
249	PL_11	D1_70	D2_40	D3_70	CR_22-25
250	PL_11	D1_70	D2_55	D3_40	CR_22-25
251	PL_11	D1_70	D2_55	D3_55	CR_22-25
252	PL_11	D1_70	D2_55	D3_70	CR_22-25
253	PL_11	D1_70	D2_70	D3_40	CR_22-25
254	PL_11	D1_70	D2_70	D3_55	CR_22-25
255	PL_11	D1_70	D2_70	D3_70	CR_22-25
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
336	PL_25	D1_70	D2_70	D3_70	CR_22-25

PL_11 e PL_25: Plantio de 1.111 e 2.500 plantas/ha, respectivamente; D1_40, D1_55 e D1_70: Desbaste entre 7 e 9 anos com seleção de 40%, 55% e 70% de árvores remanescentes, respectivamente; D2_40, D2_55 e D2_70: Desbaste entre 13 e 15 anos com seleção de 40%, 55% e 70% de árvores remanescentes, respectivamente; D3_40, D3_55 e D3_70: Desbaste entre 18 e 20 anos com seleção de 40%, 55% e 70% de árvores remanescentes, respectivamente; CR_12-15, CR_17-20 e CR_22-25: Corte raso entre 12 e 15 anos, 17 e 20 anos e 22 e 25 anos, respectivamente.