



**PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS EM
PLANTIO EXPERIMENTAL DE EUCALIPTO DESBASTADO**

LEONIDAS SOARES MURTA JÚNIOR

TESE DE DOUTORADO

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DE ÁRVORES
INDIVIDUAIS EM PLANTIO EXPERIMENTAL DE
EUCALIPTO DESBASTADO

LEONIDAS SOARES MURTA JÚNIOR

ENGENHEIRO FLORESTAL

ORIENTADOR: DR. RENATO VINÍCIUS OLIVEIRA CASTRO

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD – 083/2018

BRASÍLIA-DF, FEVEREIRO – 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS EM
PLANTIO EXPERIMENTAL DE EUCALIPTO DESBASTADO”

LEONIDAS SOARES MURTA JÚNIOR

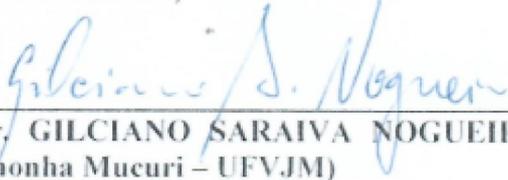
TESE DE DOUTORADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:


Prof. Dr. RENATO VINÍCIUS OLIVEIRA CASTRO (Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ);
(Orientador)


Prof. Dr. MAURO ELOI NAPPO (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)


Prof. Dr. CARLOS ALBERTO ARAÚJO JÚNIOR (Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG)
(Examinador Externo)


Prof. Dr. GILCIANO SARAIVA NOGUEIRA (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha Mucuri – UFVJM)
(Examinador Externo)

Prof. Dr. RICARDO DE OLIVEIRA GASPAR (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 23 de fevereiro de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

MM984p	Murta Júnior, Leonidas Soares Projeção do crescimento de árvores individuais em plantio experimental de eucalipto desbastado / Leonidas Soares Murta Júnior; orientador Renato Vinícius Oliveira Castro. -- Brasília, 2018. 103 p. Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Florestais) -- Universidade de Brasília, 2018. 1. modelo hipsométrico. 2. espaçamento. 3. índices de competição. 4. modelos de crescimento florestal. 5. simulação florestal. I. Castro, Renato Vinícius Oliveira, orient. II. Título.
--------	--

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MURTA JÚNIOR, L. S. (2018). Projeção do crescimento de árvores individuais em plantio experimental de eucalipto desbastado. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação **PPGEFL.TD – 083/2018**, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília (UnB), Brasília-DF, 103 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Leonidas Soares Murta Júnior.

TÍTULO: Projeção do crescimento de árvores individuais em plantio experimental de eucalipto desbastado.

GRAU: Doutor ANO: 2018

Concedido à Universidade de Brasília (UnB) permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

LEONIDAS SOARES MURTA JÚNIOR

murtaengflo@gmail.com

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por estar sempre constante em minha vida, por ter me dado força e saúde, permitindo que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, Ana e Leônidas, e irmão, Leandro, por apoiar incondicionalmente todas as decisões que tomei, e, principalmente, pela compreensão nos momentos em que estive ausente. Obrigado por tudo!

À minha namorada Erica Oliveira, pelo carinho e amor, sem o seu apoio seria impossível a realização deste sonho. Obrigado pelas palavras de incentivo e por suportar o meu estresse de maneira calma e compreensiva.

A toda minha família, que sempre acreditaram em mim. Em especial à tia Adélia (Deíde) e meus primos Marconi, Poliana e Rodrigo, por me receberem sempre de maneira calorosa. Espero que entendam os momentos de ausência, agradeço de coração por tudo!

Ao meu primo e amigo Reginaldo Versiani, por ser um constante incentivador do meu desenvolvimento pessoal e profissional, desde os tempos do colégio.

Ao Prof. Renato Oliveira pelas orientações valiosas, aconselhamentos, paciência, confiança, compreensão e amizade. Obrigado pela dedicação e pelo exemplo de profissional que és.

Ao Prof. Mauro Nappo pelo apoio em todos os momentos da realização deste trabalho, pela confiança, aconselhamentos e amizade, muito obrigado!

Ao Prof. Ricardo Gaspar pelos ensinamentos, confiança e por estar sempre disponível a ajudar. Agradeço também pela amizade e inúmeros momentos hilários!

Ao Prof. Gilciano Nogueira por contribuir no meu desenvolvimento profissional e as significativas sugestões dadas para realização deste trabalho.

Ao Prof. Carlos Araújo por aceitar participar da banca de defesa e pelas contribuições ao trabalho.

Ao casal de amigos Rodrigo e Inaê, por terem me acolhido tão bem em sua residência após a minha chegada a Brasília. Serei eternamente grato por tudo que fizeram por mim.

Ao amigo e colega de república Lidiomar Soares, pela amizade, companheirismo e pelo aprendizado durante os anos de convivência.

Aos colegas de pós-graduação pela convivência, aprendizado, amizade e apoio. Em especial, os amigos Gileno, Glauce, Josiane, Ilvan, Genilda, Milton e Fabrícia.

Aos amigos de Sete Lagoas, Maria José, Altino, Laís, Sílvia e Laura, por estarem sempre dispostos a me ajudar e por me acolherem tão bem em sua residência.

Aos amigos de Teófilo Otoni, Marcos Lima, Nathália, Vinícius e Wanderson, pelos inúmeros momentos de distração, apoio e por sempre torcerem pelo meu sucesso.

À toda equipe do SISEMA e Instituto Estadual de Florestas-MG, Escritório Regional Nordeste, pela amizade, palavras de incentivo e pensamento positivo. Em especial a Supervisora Janaína Mendonça pela compreensão e por permitir a conciliação do trabalho com a execução desta tese.

Aos secretários da pós-graduação Chiquinho, Pedro, Thiago, Patrícia e Yuri, por estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos motoristas da UnB e funcionários da Fazenda Água Limpa (FAL) pelos inúmeros auxílios durante a execução deste estudo.

À Universidade de Brasília (UnB) pela oportunidade de aprendizado, além do crescimento pessoal e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de auxílio financeiro durante parte da realização deste trabalho.

*“Sem ensaio nem rascunho, o caminho a gente
faz andando...”*

Humberto Gessinger

À minha mãe, Ana Cardoso, por não medir esforços para o meu crescimento pessoal e profissional.

DEDICO.

RESUMO

PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS EM PLANTIO EXPERIMENTAL DE EUCALIPTO DESBASTADO

Este estudo teve como objetivo projetar o crescimento de um povoamento desbastado de eucalipto em nível de árvores individuais. Os dados são oriundos de um povoamento experimental com aproximadamente 2,10 ha, implantado em espaçamento 3,0 m x 2,0 m, localizado em Brasília, Distrito Federal. O desbaste foi realizado aos 60 meses e os tratamentos corresponderam a diferentes porcentagens de redução no número de indivíduos, sendo: *T0*: testemunha (não houve desbaste); *T25*: redução de 25% no número de indivíduos; *T33*: redução de 33% no número de indivíduos; e *T50*: redução de 50% no número de indivíduos. As coletas de dados ocorreram aos 60 meses (antes da intervenção) e aos 67, 74, 81, 88 e 95 meses, as variáveis coletadas foram: o diâmetro a 1,30 m de altura (*DAP*) de todos os indivíduos e altura total (*Ht*) de 50 árvores para cada tratamento. O trabalho foi dividido em três capítulos onde, no capítulo I, foram apresentadas as mudanças ocorridas nas características dendrométricas e modelos hipsométricos foram ajustados para os diferentes tratamentos em cada idade, sendo selecionado aquele que proporcionou estimativas mais precisas da altura total das árvores. No capítulo II, foram avaliados e propostos diferentes índices de competição independentes e semi-independentes da distância, no intuito de obter índices sensíveis ao efeito do desbaste e coerentes com o crescimento das árvores nos diferentes tratamentos. Os melhores índices foram selecionados para os estudos de crescimento apresentado no capítulo posterior. No capítulo III, foram ajustados, para cada índice de competição, diferentes modelos de crescimento em diâmetro e altura para árvores individuais. Simulações de diferentes intensidades de desbaste e projeção do crescimento até os 95 meses de idade foram realizadas a fim de verificar a precisão e a consistência das estimativas proporcionadas pelos modelos. Após as análises, observou-se que, de maneira geral, as diferentes intensidades de desbaste influenciaram o crescimento em *DAP*, porém não houve influência sobre o crescimento em altura total. Verificou-se também, que o modelo proposto por Curtis resultou nas melhores estimativas de altura total nas diferentes intensidades de desbaste e as diferentes taxas de crescimento diamétrico impossibilitaram utilizar uma única equação hipsométrica para os diferentes tratamentos em cada idade. Entre os índices independentes da distância tradicionais, apenas o BAL é indicado para representar a competição em povoamentos desbastados. A inclusão da variável AB_{24} , somatório das áreas seccionais das 24 árvores mais próximas à árvore-objeto, no cálculo dos índices tradicionais independentes e semi-independentes da distância resulta em aumento da eficiência para descrever a competição entre árvores em povoamentos desbastados. O modelo Linear proporcionou estimativas mais precisas do crescimento em diâmetro e altura total de árvores individuais. Nas simulações e projeção do crescimento até os 95 meses de idade, as equações oriundas do modelo Linear ajustado com os índices BAL e NBAL, captaram o efeito das diferentes intensidades de desbastes e projetaram eficientemente o crescimento em *DAP* e *Ht*. Pode-se concluir que os modelos obtidos neste estudo proporcionaram estimativas precisas e consistentes, tanto sob o aspecto estatístico quanto biológico, para plantios desbastados de eucalipto em nível de árvores individuais.

Palavras-chave: modelo hipsométrico; espaçamento; índices de competição; modelos de crescimento florestal; simulação florestal.

ABSTRACT

INDIVIDUAL TREES GROWTH PROJECTION IN EXPERIMENTAL STAND OF EUCALYPTUS THINNED

The objective of this study was to project growth eucalyptus stand thinned at individual trees level. The data come from a experimental stand with approximately 2.10 ha, implanted in space 3.0 m x 2.0 m located in Brasilia, Federal District, Brazil. The thinning was performed at 60 months and the treatments corresponded to different percentages of reduction in the number of individuals, being: *T0*: control (no thinning); *T25*: reduction of 25% in the number of individuals; *T33*: reduction of 33% in the number of individuals; *T50*: reduction of 50% in the number of individuals. Data collection occurred at 60 months (before thinning) and at 67, 74, 81, 88 and 95 months, the variables collected were: diameter at 1.30 m height (*DBH*) of all individuals and total height of 50 trees for each treatment. This work was divided into three chapters where, in Chapter I, the changes occurred in the dendrometric characteristics were showed and hypsometric models were adjusted for different treatments at each age, being selected the one that provided more precise estimates of the total height of the trees. In Chapter II, we evaluated and proposed different competition indexes independent and semi-independent of distance, in order to obtain indexes sensitive to the thinning effect and consistent with tree growth in different treatments. The best indexes were selected for the growth studies presented in the later chapter. In Chapter III, we adjusted different growth models in diameter and total height for individual trees for each competition index. Simulations of different thinning intensities and growth projection up to 95 months of age were performed in order to verify the accuracy and consistency of the estimates provided by the models. After the analysis, we observed that, in general, the different intensities of thinning influenced the growth in *DBH*, but there was no influence on the growth in total height. We also verified that the model proposed by Curtis resulted in the best estimates of total height at the different intensities of thinning and we observed that the different diametric growth rates made it impossible to use a single hypsometric equation for the different treatments at each age. Among the traditional indexes independent of distance, only the BAL is indicated to represent the competition in thinned stands. The inclusion of variable AB_{24} , summation of the sectional areas of the 24 trees closest to the object tree, in the calculation of competition indexes independent and semi-independent of distance results in increased efficiency to describe the competition between trees in thinned stands. The Linear model provided more accurate estimates of growth in diameter and total height of individual trees. In the simulations and projection of the growth until the 95 months of age, the equations derived from the Linear model adjusted with the BAL and NBAL indexes, captured the effect of the different intensities of thinning and efficiently projected the growth in *DBH* and *Ht*. We concluded that the models obtained in this study provided accurate and consistent estimates, both statistically and biologically, for thinned stand eucalyptus at the individual tree level.

Key-words: hypsometric model; spacing; competition indexes; forest growth models; forest simulation.

SUMÁRIO

	Páginas
1 – INTRODUÇÃO GERAL	1
2 – OBJETIVOS	3
2.1 – OBJETIVO GERAL	3
2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 – ESTRUTURA DA TESE	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
CAPÍTULO I	7
CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE EUCALIPTO SUBMETIDO A DESBASTE	7
1.1 – INTRODUÇÃO	8
1.2 – MATERIAL E MÉTODOS	9
1.2.1 – DADOS	9
1.2.2 – AJUSTE DOS MODELOS HIPSOMÉTRICOS	10
1.2.3 – QUALIDADE DO AJUSTE DOS MODELOS	10
1.2.4 – TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS	11
1.3 – RESULTADOS	11
1.4 – DISCUSSÃO	28
1.4.1 – DESBASTE E VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	28
1.4.2 – EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS	30
1.4.3 – TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS HIPSOMÉTRICOS	30
1.5 – CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
CAPÍTULO II	36
ÍNDICES DE COMPETIÇÃO EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO SUBMETIDO A DESBASTE	36
2.1 – INTRODUÇÃO	37
2.2 – MATERIAL E MÉTODOS	38
2.2.1 – LOCAL DE ESTUDO E DADOS	38
2.2.2 – ÍNDICES DE COMPETIÇÃO (IC)	39
2.2.3 – AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO	43
2.3 – RESULTADOS	44
2.4 – DISCUSSÃO	48
2.5 – CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
CAPÍTULO III	57
PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO E SIMULAÇÃO DE DESBASTES EM EUCALIPTO EM NÍVEL DE ÁRVORES INDIVIDUAIS	57
3.1 – INTRODUÇÃO	58

3.2 – MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3.2.1 – LOCAL DE ESTUDO E COLETA DOS DADOS.....	59
3.2.2 – ÍNDICES DE COMPETIÇÃO (IC)	60
3.2.3 – MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO E EM ALTURA.....	61
3.2.4 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS MODELOS	62
3.2.5 – SIMULAÇÃO DE DESBASTES E PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO	62
3.3 – RESULTADOS	64
3.4 – DISCUSSÃO	95
3.5 – CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
CONCLUSÕES GERAIS	103

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1.1 – Modelos avaliados para estimar a altura das árvores por idade e tratamento.....	10
Tabela 1.2 – Descrição dos dados do povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, localizado em Brasília-DF.....	12
Tabela 1.3 – Mudanças ocorridas por período no povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, localizado em Brasília-DF.....	14
Tabela 1.4 – Mudanças ocorridas no povoamento de eucalipto após 35 meses da implantação dos desbastes, em Brasília-DF.....	15
Tabela 1.5 – Parâmetros das equações hipsométricas ajustadas e suas respectivas estatísticas de qualidade obtidas nas fases de ajuste e validação em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, localizado em Brasília-DF.....	16
Tabela 1.6 – Resultado do teste de identidade de modelo hipsométrico por meio do teste F, para as combinações entre os diferentes tratamentos em cada idade, em Brasília-DF.....	26

CAPÍTULO II

Tabela 2.1 – Relação funcional dos índices de competição independentes e semi-independentes da distância estimados em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, em Brasília-DF.....	41
Tabela 2.2 - Correlações simples entre os índices de competição, idade (I), DAP (cm), Ht (m), crescimento dimensional em diâmetro (DAP) e altura total (Ht) em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, em Brasília-DF.....	44
Tabela 2.3 – Teste F-parcial, global e por tratamento, para os índices de competição em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, em Brasília-DF..	47

CAPÍTULO III

Tabela 3.1 – Relação funcional dos índices de competição utilizados para estimar modelos de crescimento em diâmetro e altura em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, localizado em Brasília-DF.....	60
Tabela 3.2 – Modelos utilizados para estimar o crescimento do diâmetro e da altura em povoamento de eucalipto submetido a desbaste, localizado em Brasília-DF.....	61
Tabela 3.3 – Características de DAP e altura total nas fases de ajuste e validação de modelos de crescimento eucalipto submetido a desbaste, localizado em Brasília-DF.....	62
Tabela 3.4 – Parâmetros das equações de crescimento ajustadas por índice de competição e suas respectivas estatísticas de qualidade nas fases de ajuste e validação em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, em Brasília-DF.....	66
Tabela 3.5 – Estimativa das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário A com dados de $T25$ pré-desbaste.....	72
Tabela 3.6 – Estimativa das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário A com dados de $T33$ pré-desbaste.....	75
Tabela 3.7 – Estimativa das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário A com dados de $T50$ pré-desbaste.....	76

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1 – Dispersão dos resíduos percentuais dos três modelos em função das alturas totais observadas, por idade e tratamento, para as fases de ajuste e validação.	20
Figura 1.2 – Alturas totais estimadas <i>versus</i> observadas pelos três modelos, por idade e tratamento, para as fases de ajuste e validação. A linha pontilhada é a linha 1:1.	23
Figura 1.3 – Histograma dos resíduos percentuais dos três modelos, por idade e tratamento, para as fases de ajuste e validação.	26
Figura 1.4 – Estimativa da altura total pelas equações hipsométricas provenientes do ajuste do modelo 3 para cada tratamento e por idade, em Brasília-DF	27

CAPÍTULO II

Figura 2.1 – Ilustração do povoamento visto de cima, mostrando a posição das árvores competidoras na 1ª (a) e na 2ª (b) adjacência. Em que  representa a árvore-objeto e  representam as árvores competidoras.	40
Figura 2.2 – Crescimento em diâmetro <i>DAP</i> (cm e %) e em <i>Ht</i> (m e %), e o comportamento médio dos índices de competição em função da idade (intervalos de medição: 1 = 60 a 67 meses; 2 = 67 a 74 meses; 3 = 74 a 81 meses; 4 = 81 a 88 meses e 5 = 88 a 95 meses) para cada tratamento.	47

CAPÍTULO III

Figura 3.1 – Fluxograma de passos para utilização do aplicativo desenvolvido para simular o desbaste e projetar o crescimento de árvores individuais.	64
Figura 3.2 – Dispersão dos resíduos percentuais dos modelos de crescimento em função dos diâmetros e alturas observadas, por índice de competição, nas fases de ajuste e validação. ...	68
Figura 3.3 – Diâmetro e altura estimados em função dos valores observados, para os modelos de crescimento ajustados por índice de competição nas fases de ajuste e validação.	70
Figura 3.4 – Histograma dos resíduos percentuais dos modelos de crescimento ajustados para diâmetro e altura total por índice de competição, nas fases de ajuste e validação.	71
Figura 3.5 – Comparação entre os valores observados e estimados das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário A com dados de <i>T25</i> , <i>T33</i> e <i>T50</i> pré-desbaste.	81
Figura 3.6 – Comparação entre os valores observados e estimados das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário B com dados de <i>T0</i>	85
Figura 3.7 – Projeção das variáveis de povoamento através das equações ajustadas e comparação entre os valores observados e estimados considerando o cenário C.	90
Figura 3.8 – Comparação entre o crescimento diamétrico observado e estimado para árvores pequenas, médias e grandes, localizadas no interior do talhão para cada tratamento e índice de competição.	92
Figura 3.9 – Comparação entre o crescimento diamétrico observado e estimado para árvores pequenas, médias e grandes, localizadas na borda do talhão, para cada tratamento e índice de competição.	94

Figura 3.10 – Estimativas das variáveis área basal (AB), diâmetro médio (q) e média da altura total (\overline{Ht}) em simulações de diferentes intensidades de desbaste. 94

1 – INTRODUÇÃO GERAL

As florestas plantadas com o gênero *Eucalyptus* no Brasil totalizam cerca de 5,7 milhões de ha, distribuídos em todas as regiões do país. Percentualmente, 45,4% dos plantios estão localizados na região Sudeste, 21,0% na região Centro-Oeste, 15,2% na região Nordeste, 12,7% na região Sul e 5,6% na região Norte (IBÁ, 2017).

Devido aos grandes investimentos em pesquisa e tecnologia nas últimas três décadas, a produtividade dos povoamentos aumentou consideravelmente, passando de 10,0 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ em 1965 para 35,7 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2016 (IBÁ, 2017), podendo chegar a 45 – 50 m³.ha⁻¹ nos melhores sítios (SBS, 2008).

Entre os principais fatores que permitiram esse aumento de produção está o avanço da silvicultura clonal (XAVIER e SILVA, 2010), além do desenvolvimento e aplicação de práticas silviculturais para a formação e condução dos povoamentos.

Conforme Gonçalves et al. (2008), as plantações de eucalipto no Brasil são cultivadas entre 6 a 8 anos antes do primeiro corte, podendo ser seguido pela condução da talhadia pela mesma faixa de duração. Nos locais de baixa qualidade, não mais de dois cortes rasos são realizados e em sítios de alta qualidade, três cortes rasos são possíveis antes da reforma do plantio.

Normalmente, a madeira de pequeno diâmetro oriunda de florestas plantadas é utilizada para a produção de celulose e papel, painéis de madeira, pisos laminados, e carvão vegetal. Já a madeira de maior dimensão é destinada à serraria resultando em produtos sólidos utilizados na construção civil, no transporte de mercadorias e na produção de móveis e objetos de decoração (IBÁ, 2017).

Quando se objetiva produzir árvores de grande porte, ou obter madeira com características tecnológicas adequadas ao processamento mecânico, é necessário conduzir o povoamento através de técnicas silviculturais que permitam que as árvores atinjam as características desejadas (DAVID et al., 2017). Dentre as técnicas conhecidas, o desbaste pode ser usado com o objetivo de aumentar a produção de madeira comercializável, melhorando a qualidade das árvores e elevando a rentabilidade do empreendimento (HAWLEY e SMITH, 1972). Esta técnica se baseia em definir um ritmo de crescimento adequado à floresta, ordenando a mortalidade e disponibilizando recursos de crescimento aos indivíduos remanescentes (HAWLEY e SMITH, 1972; BEZERRA et al., 2011).

Independentemente da técnica silvicultural adotada, quantificar a produção do povoamento florestal é fundamental para otimizar os processos de gestão e exploração

(DAVIS et al., 2005), uma vez que é primordial que se conheça o estoque em crescimento e de colheita, e isso é feito através da medição e estimação de características das árvores e da área na qual elas estão plantadas (BINOTI, 2012).

Para estimar a produção de povoamentos florestais são utilizados modelos que simulam a dinâmica natural dos mesmos, e preveem a produção ao longo do tempo, em diferentes possibilidades de manejo (VANCLAY, 1994). Esses modelos podem ser divididos em três tipos: os de clareiras ou *gap models*, os mecanísticos ou de processos e os de crescimento e produção empíricos (MARTINS, 2011).

Para quantificar o efeito do desbaste sobre a produção florestal, geralmente são empregados modelos de crescimento e produção empíricos, os quais podem ser do tipo povoamento total, de distribuição diamétrica e em nível de árvores individuais (DIAS et al., 2005).

Os modelos em nível de povoamento total (MPT) permitem obter estimativas do crescimento e da produção por área, sendo o volume obtido a partir de variáveis como idade, área basal e índice de local (CASTRO et al., 2013; CAMPOS e LEITE, 2017).

Já os modelos de distribuição diamétrica (MDD) estimam o número de árvores e a produção por hectare por classe de diâmetro, fornecendo um detalhamento maior sobre o crescimento das árvores em relação aos modelos em nível de povoamento total (CAMPOS e LEITE, 2017).

Por último, os modelos de árvores individuais (MAI) consideram a árvore como unidade básica de modelagem usada para simular crescimento e mortalidade, o volume por hectare é obtido ao somar o volume das árvores individuais (CAMPOS e LEITE, 2017). Eles são mais complexos em relação aos demais, devido ao fato de serem constituídos por submodelos (DAVIS et al, 2005), e podem apresentar variáveis de difícil medição e avaliação, como aquelas relacionadas a mortalidade e às dimensões das copas das árvores (DANIELS e BURKHART, 1988). Porém, esta categoria de modelos tem a vantagem de gerar informações detalhadas sobre a dinâmica da estrutura dos povoamentos, permitir obter a produção do povoamento por classe diamétrica e por unidade de área (CASTRO et al., 2013).

Para Martins (2011), muito tem se trabalhado no sentido de evoluir os modelos de crescimento e produção em nível de árvore individual e de seus componentes e submodelos. Exemplos de trabalhos no Brasil que proporcionaram significativas contribuições na utilização de modelos de árvores individuais em florestas equiâneas, inequiâneas, e por meio de redes neurais artificiais são encontrados em Castro (2011), Castro (2012), Martins et al.

(2014), Orellana (2014), Lustosa Júnior (2016) e Miranda (2016).

É conveniente salientar que apesar desses modelos serem amplamente estudados, ainda existem lacunas relacionadas ao desenvolvimento e aplicação de modelos de crescimento em nível de árvores individuais, principalmente em povoamentos submetidos a desbaste, onde são poucos os trabalhos sobre os níveis de competição, taxas de mortalidade e metodologias mais eficientes para determinar as funções de crescimento em diferentes intensidades de desbaste.

Assim, a ausência dessas informações na literatura justifica a realização de estudos com objetivo de projetar o crescimento e a produção de povoamentos desbastados em nível de árvores individuais.

2 – OBJETIVOS

2.1 – Objetivo geral

Projetar o crescimento de árvores individuais em um povoamento experimental de eucalipto desbastado.

2.2 – Objetivos específicos

- Apresentar as mudanças ocorridas nas características dendrométricas em um povoamento experimental de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste.
- Avaliar diferentes índices de competição para estudo de crescimento de um povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste;
- Desenvolver e avaliar modelos de crescimento em diâmetro e altura total para povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste em nível de árvores individuais;
- Simular o efeito de diferentes intensidades de desbastes no crescimento de árvores individuais em um povoamento de eucalipto.

3 – ESTRUTURA DA TESE

Para alcançar os objetivos propostos, a tese foi estruturada em três capítulos, sendo que cada capítulo encontra-se na forma de artigo científico, conforme apresentado a seguir:

- **Capítulo I:** “Características dendrométricas de eucalipto submetido a desbaste”.
- **Capítulo II:** “Índices de competição em povoamento de eucalipto submetido a

desbaste”;

- **Capítulo III:** “Projeção do crescimento e simulação de desbastes em eucalipto em nível de árvores individuais”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZERRA, A. F.; MILAGRES, F. R.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G. ANÁLISE DA Viabilidade econômica de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbastes no Mato Grosso. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 583-592, 2011.

BINOTI, M. L. M. S. **Emprego de redes neurais artificiais em mensuração e manejo florestal**. 2012. 138 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2012.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5ª ed. Viçosa: MG, 2017. 636p.

CASTRO, R.V.O. **Modelagem de árvore individual para uma floresta estacional semidecidual utilizando redes neurais**. 2012. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2012.

CASTRO, R.V.O. **Modelagem do crescimento em nível de árvores individuais utilizando redes neurais e autômatos celulares**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

CASTRO, R. V. O.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE, H. G. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.48, n.3, p.287-295, mar. 2013.

DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E. Integrated system of forest stand models. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 23.p. 159-177, 1988.

DAVID, H. C.; PÉLLICO NETTO, S.; ARCE, J. E.; CORTE, A. P. D.; MARINHESKI FILHO, A.; ARAÚJO, E. J. G. de. Efeito da Qualidade do Sítio e do Desbaste na Produção de Pinus. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N.; BETTINGER, P.; HOWARD, T. E. **Forest management: to sustain ecological, economic, and social values**. 4ª ed. Illinois: Waveland, 2005. 804p.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C.; COUTO, L. CARVALHO, A. F. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.731-739, 2005.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **Silvicultura prática**. Barcelona: Omega. 544 p. 1972.

GONÇALVES, J. M. L.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, 70(2). 2008.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Ano Base 2016 – Brasília, 2017. 80 p.

LUSTOSA JÚNIOR, I. M. **Competição e modelagem florestal em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, MG**. 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências

Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MARTINS, F. B.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Individual tree growth models for eucalyptus in northern Brazil. **Scientia Agricola**. v.71, n.3, p.212-225, 2014.

MARTINS, F. B. **Modelagem em nível de árvore individual para plantios comerciais de eucaliptos**. 2011. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

MIRANDA, R. O. V. **Modelagem de árvores individuais para povoamentos não desbastados de *Pinus taeda* L.** 2016. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

ORELLANA, E. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de floresta de Araucária**. 2014. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

SBS (2008). Fatos e Números do Brasil Floresta. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Disponível em <http://www.sbs.gov.br> [acessado em 16 de novembro de 2017].

VANCLAY, J.K. **Modeling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Copenhagen: CAB International, 1994. 312p.

XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da Silvicultura Clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agromía Costarricense**, v. 34, n.1, p. 93-98, 2010.

CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE EUCALIPTO SUBMETIDO A DESBASTE

RESUMO – O desbaste é uma técnica que visa a produção de madeira de alta qualidade através da obtenção de árvores de grande porte em um menor tempo, alterando as características dendrométricas das árvores remanescentes. Assim, objetivou-se com o estudo apresentar as mudanças nas características dendrométricas, além de ajustar e selecionar modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste sistemático. Os tratamentos foram: *T0*: testemunha (sem desbaste); *T25*: redução de 25% no número de indivíduos; *T33*: redução de 33%; e *T50*: redução de 50%. O povoamento foi mensurado aos 60 meses (antes da intervenção), 67, 74, 81, 88 e 95 meses. As variáveis dendrométricas avaliadas foram *DAP*; *Ht*; mortalidade e área basal por hectare. Os modelos hipsométricos testados foram o de Stoffels, o Modelo de Linha Reta e o de Curtis. As estatísticas utilizadas para verificar a qualidade das estimativas foram coeficiente de determinação, erro-padrão residual, coeficiente de correlação de Pearson, raiz quadrada do erro médio, Bias absoluto e percentual, média das diferenças absolutas e análise gráfica de resíduos. Aplicou-se o teste de identidade de modelos para verificar a possibilidade de uma única equação representar a relação hipsométrica para os tratamentos dentro da mesma idade. O desbaste influenciou o crescimento em *DAP* e área basal por hectare, porém houve pouca influência no crescimento em altura total. A mortalidade percentual no período foi inferior a 3,3% para todos os tratamentos, exceto para o *T50* que foi de 7%. O modelo hipsométrico proposto por Curtis resultou nas melhores estimativas de altura total. O desbaste proporcionou alterações nos incrementos diamétricos dos tratamentos resultando na impossibilidade de utilizar uma única equação hipsométrica para os diferentes tratamentos em cada idade. Para os tratamentos *T0* e *T25*; *T0* e *T50* aos 67 meses e, *T0* e *T25* aos 88 meses é possível utilizar apenas uma equação para estimar a altura total das árvores.

Palavras-chave: modelo hipsométrico; teste de identidade de modelo; espaçamento.

1.1 – INTRODUÇÃO

O comportamento de uma floresta plantada, no que se refere aos tipos diferenciados de manejo, pode proporcionar alterações na qualidade da madeira, influenciando no produto final desejado e, conseqüentemente, no seu valor comercial. Nesse sentido, a busca por material de qualidade superior que atenda às exigências do mercado madeireiro vem crescendo a cada ano. Tal comportamento é refletido nos diferentes segmentos florestais a partir da silvicultura e do melhoramento genético, finalizando no setor tecnológico de base florestal (GONÇALVES et al., 2010).

Em plantios comerciais, diversas práticas silviculturais devem ser executadas quando o objetivo é a produção de madeira sólida de qualidade (DAVID et al., 2017). Dentre tais atividades, o desbaste constitui-se como uma das mais importantes (GONÇALVES et al., 2010). Sua aplicação pode resultar na produção de árvores de grande porte, se houver gestão dos fatores de crescimento, como água, luz e nutrientes para as árvores, com a garantia de aumento na qualidade da madeira, o que possivelmente irá agregar valor a esta (DIAS et al., 2005).

Um dos aspectos que devem ser considerados quando da aplicação de desbastes é a sua intensidade, a qual afeta as características dendrométricas dos povoamentos florestais (ARAÚJO et al., 2007) principalmente em termos do incremento diamétrico. Menores índices de densidade de indivíduos estimula a formação de fustes maiores em diâmetro e de maior valor agregado, por atenderem a usos mais nobres. Por outro lado, em povoamentos mais densos, o espaço para o crescimento radial das árvores é reduzido, tornando-as mais finas e pouco valorizadas no mercado (DAVID et al., 2017).

Desde a implantação das primeiras florestas plantadas com o gênero *Eucalyptus* em território brasileiro, têm-se avaliado o comportamento das variáveis dendrométricas diante da aplicação de diferentes tratamentos silviculturais e suas implicações na produção florestal. Isso inclui os trabalhos sobre a adoção de diferentes espécies e a relação entre características dendrométricas em diferentes espaçamentos de plantio (VIDAURRE et al., 2015; DAVID et al., 2017), a influência da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas (TREVISAN et al., 2007), o efeito do desbaste e da fertilização na porcentagem de casca e conicidade de toras (LIMA e GARCIA, 2010) e o comportamento das características dendrométricas, químicas e densidade da madeira (HSING et al., 2016).

Estes estudos descreveram algumas tendências do crescimento da floresta em

função da intensidade de desbaste e espaçamento adotado, podendo-se destacar o incremento em diâmetro, altura e volume, determinados pelo número de árvores por hectare. Tal conhecimento a cerca das características dendrométricas de espécies utilizadas em plantios comerciais facilita tanto o planejamento da produção quanto na comercialização do produto gerado (HOFFMAN et al., 2011; CAMPOS e LEITE, 2017).

Assim, diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo apresentar as mudanças nas características dendrométricas, além de ajustar e selecionar modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste.

1.2 – MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 – Dados

O estudo foi conduzido na Fazenda Água Limpa (FAL), pertencente à Universidade de Brasília (UnB), Distrito Federal. A FAL está localizada entre as coordenadas geográficas 15° 56' - 15° 59'S e 47° 55' - 47° 56'W, e encontra-se a uma altitude média de 1.100 m. O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Aw (ALVARES et al., 2013), sendo caracterizado por duas estações bem definidas, uma quente e chuvosa que ocorre no período de outubro a abril, e outra fria e seca, que acontece de maio a setembro. A temperatura média anual é de 22,1° C com precipitação média anual de 1469 mm (NIMER, 1989). O solo predominante na região é o Latossolo Vermelho Amarelo, distrófico, com alto teor de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio (HARIDASAN, 1990).

Os dados foram coletados em um povoamento florestal com aproximadamente 2,10 hectares. O material genético é composto por híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e o espaçamento inicial entre as árvores era de aproximadamente 3,0 m x 2,0 m.

Aos 60 meses foi realizado o desbaste sistemático de árvores dentro das linhas. Para isso, a área de estudo foi dividida em quatro partes de mesmo tamanho e os tratamentos aplicados corresponderam a diferentes porcentagens de redução no número de indivíduos, sendo: *T0*: testemunha (não houve desbaste); *T25*: redução de 25% no número de indivíduos; *T33*: redução de 33% no número de indivíduos; e *T50*: redução de 50% no número de indivíduos.

A primeira coleta de dados ocorreu aos 60 meses (antes da intervenção) e as demais

aos 67, 74, 81, 88 e 95 meses. As variáveis coletadas foram: o diâmetro a 1,30 m de altura (*DAP*) de todos os indivíduos e altura total (*Ht*) de 50 árvores para cada tratamento, selecionadas aleatoriamente. As alturas foram mensuradas apenas a partir dos 67 meses, sendo que as mesmas árvores foram remeidas em cada idade. O *DAP* foi mensurado com suta e *Ht* com auxílio de clinômetro digital.

A dinâmica do povoamento no período estudado foi calculada com base nas variações obtidas no crescimento em *DAP* e a *Ht*, na mortalidade dos indivíduos e na área basal. As variações foram calculadas por tratamento, em escala absoluta e percentual.

1.2.2 – Ajuste dos modelos hipsométricos

Para estimar a altura total das árvores que não tiveram esta variável mensurada, foram ajustados modelos hipsométricos por estrato (idade e tratamento), totalizando 20 ajustes por modelo. Os modelos avaliados foram selecionados com base na literatura florestal pertinente (SOARES et al., 2004; SOARES et al., 2011; CAMPOS e LEITE, 2017) e estão apresentados na Tabela 1.1. Embora a relação matemática entre o diâmetro e altura total das árvores não seja linear, o Modelo de linha reta também foi testado conforme trabalhos de Soares et al. (2004), Donadoni et al. (2010) e Azevedo et al. (2011).

Tabela 1.1 – Modelos avaliados para estimar a altura das árvores por idade e tratamento

Nº	Forma de ajuste	Autor	Equação
1	$LnHt = S_0 + S_1 LnDAP + v$	Stoffels	(1.1)
2	$Ht = S_0 + S_1 DAP + v$	Modelo da linha reta	(1.2)
3	$LnHt = S_0 + S_1 DAP^{-1} + v$	Curtis	(1.3)

Em que: *Ln* é o logaritmo neperiano; *Ht* é a altura total (m); *S*₀ e *S*₁ são parâmetros dos modelos; *DAP* é o diâmetro a 1,3 m de altura (cm); e *v* é o erro aleatório.

Das 50 observações em cada estrato, 60% foram destinados para o ajuste dos modelos e 40% para a fase de validação das equações. Para garantir maior amplitude aos dados de ajuste, as árvores foram distribuídas em cinco classes de altura, e em cada classe selecionou-se aleatoriamente seis observações. Nas situações em que a classe apresentou seis ou menos árvores, todas elas foram direcionadas para o grupo de ajuste.

1.2.3 – Qualidade do ajuste dos modelos

Para verificar a qualidade dos ajustes, bem como as estimativas de *Ht* obtidas com cada equação, avaliou-se os valores do coeficiente de determinação (*R*²), erro-padrão residual (*S*_{xy}), coeficiente de correlação de Pearson (*r*), raiz quadrada do erro médio (%),

Bias absoluto e percentual, média das diferenças absolutas e análise gráfica de resíduos (dispersão, gráfico de 45 graus e histograma dos resíduos percentuais) cujas relações funcionais estão descritas em Özelik et al. (2010), Binoti et al. (2015) e Campos e Leite (2017).

As equações que permitiram obter as melhores estimativas aos 67 meses foram utilizadas, em seus respectivos tratamentos, para estimar a altura total das árvores aos 60 meses.

1.2.4 – Teste de Identidade de Modelos

Após selecionar o melhor modelo e ajustar as equações hipsométricas para cada tratamento por idade, aplicou-se o teste de identidade de modelos (GRAYBILL, 1976), utilizando variáveis *dummy* (REGAZZI, 2003) com o objetivo de verificar a possibilidade de uma única equação representar a relação hipsométrica para os tratamentos dentro da mesma idade. Este teste compara a soma de quadrado dos resíduos em cada tratamento (modelo completo) e a soma de quadrado da diferença para o modelo ajustado com todos os tratamentos (modelo reduzido). A hipótese de nulidade testada (H_0), foi a de que os parâmetros eram iguais, ou seja, que o vetor dos parâmetros do modelo completo fosse igual ao do modelo reduzido. A rejeição dessa hipótese implica na impossibilidade do uso de uma única equação para estimar a altura total das árvores entre os tratamentos testados.

Todas as combinações entre os quatro tratamentos foram testadas e a verificação da hipótese H_0 foi realizada através do teste F da análise de variância para a redução, considerando o nível de significância de 5% (NETER et al., 1996; ARAÚJO et al., 2012).

1.3 – RESULTADOS

A descrição completa das variáveis diâmetro (*DAP*), altura total (*Ht*), diâmetro médio (*q*) e área basal por hectare (*AB*), para cada tratamento e em cada idade, além do número de indivíduos colhidos na implantação do desbaste sistemático, são apresentados na Tabela 1.2.

Aos 60 meses, nota-se que a divisão do povoamento resultou em quatro tratamentos homogêneos, sendo que os valores médios das variáveis dendrométricas foram similares. A exceção foi o *T33*, que apresentou os menores valores para as variáveis analisadas. Nos demais tratamentos as médias de *DAP* ficaram em torno de 15,5 cm, as de *Ht* em cerca de 21,8 m, o diâmetro médio em 15,6 cm e as áreas basais foram superiores a 20 m².ha⁻¹.

Tabela 1.2 – Descrição dos dados do povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, localizado em Brasília-DF

Variáveis	60 meses				60 meses**				67 meses				74 meses			
	T0	T25	T33	T50	T0	T25	T33	T50	T0	T25	T33	T50	T0	T25	T33	T50
<i>DAP</i> mín (cm)	5,60	5,90	4,00	6,40	5,60	5,90	4,00	6,40	5,60	7,00	4,80	6,70	8,50	6,60	5,60	6,90
<i>DAP</i> méd (cm)	15,59	15,59	14,78	15,43	15,59	15,63	14,74	15,60	16,80	16,92	16,22	17,15	17,38	17,58	16,88	17,93
<i>DAP</i> máx (cm)	22,50	21,00	24,60	22,60	22,50	21,00	24,60	22,60	24,30	22,50	25,30	24,80	24,80	23,50	28,20	25,60
<i>Ht</i> mín (m)*	10,13	5,87	4,88	13,08	10,13	5,87	4,88	13,08	10,13	8,19	6,72	13,62	16,48	5,94	10,96	13,57
<i>Ht</i> méd (m)*	22,05	21,68	19,43	21,84	22,05	21,72	19,40	21,91	22,77	23,11	20,41	22,68	25,20	24,17	21,72	23,71
<i>Ht</i> máx (m)*	25,43	26,92	24,29	24,78	25,43	26,92	24,29	24,78	26,60	28,01	25,60	25,40	28,75	30,20	26,10	26,60
<i>q</i> (cm)	15,74	15,74	15,03	15,62	15,74	15,78	15,00	15,81	16,98	17,08	16,47	17,38	17,54	17,74	17,14	18,16
<i>AB</i> (m ² .ha ⁻¹)	20,06	21,17	18,75	21,13	20,06	16,91	12,49	12,16	22,98	19,50	14,89	13,88	24,22	21,01	16,05	14,99
N° de indivíduos desbastados	0	117	185	262	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variáveis	81 meses				88 meses				95 meses							
	T0	T25	T33	T50	T0	T25	T33	T50	T0	T25	T33	T50				
<i>DAP</i> mín (cm)	9,00	8,10	6,00	6,90	9,60	8,40	6,40	6,90	9,70	7,80	6,70	6,90				
<i>DAP</i> méd (cm)	17,88	18,26	17,58	18,66	18,38	18,92	18,24	19,35	18,47	19,04	18,42	19,55				
<i>DAP</i> máx (cm)	25,80	25,00	30,10	27,00	27,00	26,30	31,60	28,50	27,50	26,50	32,40	29,60				
<i>Ht</i> mín (m)*	17,63	11,36	11,50	13,34	18,81	13,56	11,40	12,58	18,69	11,82	11,37	12,47				
<i>Ht</i> méd (m)*	25,76	25,32	22,16	24,06	26,22	25,80	22,73	24,70	26,69	26,17	23,20	25,02				
<i>Ht</i> máx (m)*	29,25	30,45	26,20	27,06	29,70	30,12	26,97	28,18	30,66	30,90	28,10	28,77				
<i>q</i> (cm)	18,07	18,45	17,87	18,92	18,57	19,12	18,54	19,61	18,66	19,25	18,72	19,82				
<i>AB</i> (m ² .ha ⁻¹)	25,69	22,61	17,43	16,27	26,99	24,22	18,77	17,42	27,23	24,55	19,09	17,74				
N° de indivíduos desbastados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

em que: *DAP* é o diâmetro à 1,30 m de altura (cm); mín é mínimo; méd é médio; máx é máximo; *Ht* é a altura total (m); *q* é o diâmetro médio (cm); e *AB* é a área basal (m².ha⁻¹).

* dados estimados através de modelos hipsométricos; ** Após a realização do desbaste.

A aplicação do desbaste resultou na colheita de 117, 185 e 262 árvores para os tratamentos *T25*, *T33* e *T50*, respectivamente. Embora buscou-se implantar exatamente os percentuais de redução no número de árvores nos tratamentos, as intensidades de desbaste reais foram de 20,5% para o *T25*, 33,2% para o *T33* e 43,9% para o *T50*. O impacto da implantação dos tratamentos foi discreto nos valores das variáveis *DAP*, *Ht* e *q*, os quais praticamente não alteraram seus valores. Já para a área basal, a remoção das árvores resultou numa redução de 20,1% no *T25*; 33,4% no *T33* e 42,5% para o tratamento *T50*.

Aos 95 meses percebe-se que as árvores atingiram, em termos médios, diâmetros superiores aos 19,0 cm nos tratamentos *T25* e *T50*, assim como para o diâmetro médio (*q*). Já para a altura total, as maiores médias foram constatadas nos tratamentos *T0* e *T25*, respectivamente.

As mudanças no povoamento em termos de dinâmica de crescimento diamétrico, crescimento em altura total, mortalidade e área basal ocorridas a partir da realização do desbaste são apresentadas na Tabela 1.3.

Os tratamentos *T33* e *T50*, que receberam as maiores intensidades de desbaste, proporcionaram os maiores crescimentos em diâmetro e área basal. As taxas de incremento para essas variáveis foram maiores no primeiro intervalo de medição (60 aos 67 meses), em que seus valores foram superiores a 7% para *DAP* e 14% para área basal por hectare. No último intervalo de medição (88 a 95 meses), o crescimento diamétrico e em área basal nestes tratamentos foram o dobro do observado no tratamento testemunha.

Já para a altura total percebe-se pouca influência do efeito do desbaste no seu ritmo de crescimento. Nota-se uma pequena superioridade nas médias dos crescimentos no período de 67 a 74 meses em relação aos demais, onde a testemunha apresentou um incremento superior a 10%. Em cada período, tratamentos distintos apresentaram maiores médias de crescimento, não sendo possível indicar qual proporcionou maior influência no crescimento em altura total das árvores.

A mortalidade percentual na maioria dos períodos foi inferior a 1% para todos os tratamentos. Apenas no período de 60 a 67 meses notou-se um número mais elevado de indivíduos mortos, sobretudo para o tratamento *T50*, em que o valor chegou a 5,54%.

Após 35 meses da implantação do desbaste sistemático, o tratamento que resultou no maior crescimento em *DAP* e em área basal foi o *T33*, proporcionando um incremento diamétrico maior que 25% contra aproximadamente 17% do tratamento testemunha. Em termos de área basal, esse incremento médio foi superior a 50% contra 35% do tratamento sem desbaste. Para a altura total, os tratamentos apresentaram crescimentos médios

Tabela 1.3 – Mudanças ocorridas por período no povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, localizado em Brasília-DF

Variáveis	60** a 67 meses				67 a 74 meses				74 a 81 meses			
	T0	T25	T33	T50	T0	T25	T33	T50	T0	T25	T33	T50
<i>DAP</i> (cm)	1,16	1,24	1,44	1,39	0,49	0,65	0,65	0,71	0,50	0,65	0,70	0,73
<i>DAP</i> (%)	7,36	7,97	10,19	8,83	2,88	3,85	3,99	4,16	2,82	3,60	4,18	4,04
<i>Ht</i> (m)*	0,68	1,33	0,97	0,68	2,35	1,05	1,31	0,98	0,56	1,09	0,44	0,35
<i>Ht</i> (%)*	3,11	6,31	5,38	3,13	10,32	4,30	6,82	4,31	2,24	4,97	2,03	1,46
Mortalidade (n° de indivíduos)	8	7	4	18	7	1	2	3	0	2	0	0
Mortalidade (%)	1,48	1,54	1,08	5,54	1,31	0,22	0,54	0,98	0,00	0,45	0,00	0,00
<i>AB</i> (m ² .ha ⁻¹)	2,92	2,59	2,40	1,72	1,24	1,50	1,16	1,12	1,47	1,60	1,38	1,28
<i>AB</i> (%)	14,56	15,34	19,20	14,11	5,40	7,71	7,79	8,05	6,07	7,62	8,62	8,54
Variáveis	81 a 88 meses				88 a 95 meses							
	T0	T25	T33	T50	T0	T25	T33	T50				
<i>DAP</i> (cm)	0,47	0,63	0,66	0,66	0,08	0,12	0,16	0,19				
<i>DAP</i> (%)	2,59	3,41	3,79	3,57	0,45	0,63	0,91	0,98				
<i>Ht</i> (m)*	0,44	0,45	0,57	0,63	0,46	0,37	0,47	0,31				
<i>Ht</i> (%)*	1,74	2,01	2,50	2,58	1,73	1,35	1,99	1,24				
Mortalidade (n° de indivíduos)	3	1	0	1	0	0	1	1				
Mortalidade (%)	0,57	0,23	0,00	0,33	0,00	0,00	0,27	0,33				
<i>AB</i> (m ² .ha ⁻¹)	1,30	1,62	1,34	1,15	0,25	0,32	0,32	0,32				
<i>AB</i> (%)	5,04	7,14	7,70	7,07	0,91	1,34	1,70	1,84				

em que: *DAP* é a média do crescimento em *DAP* (cm); *Ht* é a média do crescimento em altura total (m); *AB* é o crescimento em área basal (m².ha⁻¹).

* dados estimados através de modelos hipsométricos; ** Após a realização do desbaste.

superiores à 20%, exceto o *T50* em que observou-se um crescimento inferior, próximo aos 13%. Considerando a mortalidade, os tratamentos que apresentaram maiores taxas foram *T50*, seguido de *T0*, *T25* e *T33*, com valores iguais a 7,1%; 3,3%; 2,4% e 1,9%, respectivamente (Tabela 1.4).

Tabela 1.4 – Mudanças ocorridas no povoamento de eucalipto após 35 meses da implantação dos desbastes, em Brasília-DF

Variáveis	60** a 95 meses			
	<i>T0</i>	<i>T25</i>	<i>T33</i>	<i>T50</i>
<i>DAP</i> (cm)	2,72	3,31	3,63	3,71
<i>DAP</i> (%)	17,15	20,94	25,35	23,54
<i>Ht</i> (m)*	4,51	4,30	3,75	2,96
<i>Ht</i> (%)*	20,33	20,22	20,18	13,37
Mortalidade (n° de indivíduos)	18	11	7	23
Mortalidade (%)	3,33	2,42	1,89	7,08
<i>AB</i> (m².ha⁻¹)	7,17	7,64	6,60	5,58
<i>AB</i> (%)	35,76	45,17	52,86	45,91

em que: *DAP* é a média do crescimento em *DAP* (cm); *Ht* é a média do crescimento em altura total (m); *AB* é o crescimento em área basal (m².ha⁻¹).

* dados estimados através de modelos hipsométricos; ** Após a realização do desbaste.

Os parâmetros e as estatísticas de qualidade das estimativas obtidas nas fases de ajuste e validação provenientes dos três modelos hipsométricos ajustados por idade e tratamento são apresentados na Tabela 1.5.

A dispersão dos resíduos percentuais, o gráfico de alturas observadas *versus* alturas estimadas (linha 1:1) e o histograma dos resíduos percentuais provenientes dos três modelos hipsométricos ajustados por idade e tratamento são apresentados nas Figuras 1.1; 1.2 e 1.3, respectivamente.

O modelo de Curtis (3) foi superior aos demais devido à menor dispersão dos resíduos nas estimativas destinadas à validação dos modelos, confirmando a tendência de superioridade indicada nas estatísticas de qualidade.

Os resultados do teste de identidade de modelo são apresentados na Tabela 1.6 e as curvas de relação hipsométrica, para cada tratamento e nas diferentes idades, confeccionadas por meio das equações selecionadas são mostradas na Figura 1.4.

O teste foi não significativo para as comparações entre os tratamentos *T0* e *T25*; *T0* e *T50* aos 67 meses e, *T0* e *T25* aos 88 meses. Nos demais casos, o teste significativo indicou que não é possível utilizar apenas uma equação para estimar a altura total das árvores nas referidas idades (Tabela 1.6).

Tabela 1.5 – Parâmetros das equações hipsométricas ajustadas e suas respectivas estatísticas de qualidade obtidas nas fases de ajuste e validação em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, localizado em Brasília-DF

Idade	Trat	Mod	S ₀	S ₁	Ajuste					Validação				
					R ²	Erro %	r	RQEM (%)	MDA	r	RQEM (%)	Bias	Bias %	MDA
67	T0	1	1,8156	0,4652	0,39	9,84	0,58	9,50	1,73	0,53	4,92	-0,45	-1,94	0,87
		2	12,5951	0,6105	0,32	9,94	0,56	9,60	1,74	0,53	4,72	-0,40	-1,72	0,83
		3	3,5408	-6,8610	0,41	9,61	0,60	9,29	1,68	0,53	4,72	-0,39	-1,68	0,81
	T25	1	0,9625	0,7721	0,60	6,64	0,69	6,41	1,12	0,53	5,72	-0,56	-2,38	1,07
		2	7,0802	0,9564	0,47	6,64	0,69	6,41	1,09	0,53	5,32	-0,52	-2,21	1,01
		3	3,8879	-12,4990	0,62	6,46	0,71	6,24	1,09	0,53	5,66	-0,54	-2,29	1,06
	T33	1	1,4331	0,5705	0,58	7,40	0,77	7,15	1,10	0,58	5,72	-0,06	-0,27	1,04
		2	8,2571	0,7571	0,58	7,41	0,76	7,16	1,11	0,58	5,82	-0,01	-0,03	1,05
		3	3,5016	-7,6649	0,54	7,50	0,76	7,25	1,12	0,58	5,59	-0,08	-0,39	1,02
	T50	1	1,9213	0,4239	0,71	5,66	0,82	5,47	0,94	0,44	3,55	-0,39	-1,63	0,58
		2	12,3110	0,6084	0,66	5,74	0,81	5,54	0,95	0,44	3,68	-0,35	-1,48	0,61
		3	3,4624	-5,7027	0,71	5,56	0,82	5,37	0,93	0,44	3,40	-0,46	-1,92	0,59
74	T0	1	1,8400	0,4875	0,61	6,99	0,74	6,75	1,22	0,41	5,82	0,64	2,58	1,07
		2	13,0248	0,7060	0,52	7,09	0,72	6,85	1,22	0,40	5,78	0,64	2,57	1,06
		3	3,6489	-7,2000	0,62	6,79	0,75	6,56	1,17	0,43	5,44	0,62	2,48	1,03
	T25	1	0,6541	0,8847	0,70	6,25	0,76	6,04	1,01	0,67	6,79	-0,89	-3,54	1,34
		2	4,7266	1,1152	0,58	6,23	0,76	6,02	0,99	0,67	6,18	-0,83	-3,32	1,22
		3	4,0428	-14,9247	0,72	6,06	0,78	5,86	0,98	0,67	6,72	-0,88	-3,53	1,31
	T33	1	1,7812	0,4600	0,55	6,93	0,75	6,70	1,11	0,80	3,35	-0,23	-1,01	0,60
		2	10,7023	0,6534	0,57	6,92	0,75	6,69	1,10	0,80	3,40	-0,21	-0,93	0,62
		3	3,4340	-5,8221	0,48	7,16	0,73	6,92	1,20	0,80	3,46	-0,19	-0,83	0,63
	T50	1	1,9012	0,4394	0,94	2,83	0,95	2,73	0,53	0,41	3,33	-0,29	-1,17	0,62
		2	12,5053	0,6251	0,89	3,00	0,94	2,90	0,55	0,42	3,44	-0,31	-1,27	0,65
		3	3,5295	-6,3611	0,93	2,67	0,96	2,58	0,50	0,40	3,21	-0,29	-1,17	0,62
81	T0	1	1,9208	0,4613	0,67	6,57	0,78	6,35	1,26	0,34	4,10	-0,31	-1,20	0,82
		2	13,7296	0,6732	0,60	6,70	0,77	6,47	1,28	0,34	4,14	-0,34	-1,30	0,83
		3	3,6469	-6,9946	0,68	6,37	0,80	6,16	1,19	0,34	3,77	-0,25	-0,95	0,73
	T25	1	1,2505	0,6844	0,61	6,78	0,70	6,55	1,27	0,61	4,63	-0,01	-0,03	0,97
		2	9,6756	0,8645	0,48	6,80	0,69	6,57	1,23	0,61	4,26	-0,06	-0,25	0,90
		3	3,8884	-11,8113	0,64	6,55	0,72	6,33	1,23	0,60	4,50	-0,02	-0,09	0,95
	T33	1	1,7952	0,4562	0,63	5,75	0,79	5,56	0,86	0,66	4,57	-0,28	-1,22	0,83
		2	11,3441	0,6188	0,61	5,83	0,78	5,63	0,89	0,66	4,64	-0,22	-0,94	0,87
		3	3,4540	-6,0722	0,57	5,83	0,78	5,64	0,93	0,65	4,63	-0,41	-1,75	0,77
	T50	1	1,9127	0,4343	0,93	3,20	0,94	3,10	0,63	0,60	3,16	-0,31	-1,24	0,63
		2	12,9114	0,5967	0,87	3,41	0,93	3,30	0,65	0,61	3,26	-0,35	-1,39	0,64
		3	3,5409	-6,5572	0,92	2,99	0,95	2,88	0,59	0,59	3,11	-0,29	-1,18	0,64
88	T0	1	1,9576	0,4504	0,74	5,38	0,84	5,20	1,02	0,43	4,74	-0,59	-2,20	0,94
		2	13,7053	0,6817	0,70	5,43	0,84	5,24	1,04	0,42	4,90	-0,61	-2,25	0,98
		3	3,6428	-6,7981	0,72	5,40	0,84	5,21	1,00	0,44	4,28	-0,54	-2,02	0,82
	T25	1	1,6263	0,5543	0,59	6,38	0,70	6,17	1,25	0,60	3,99	-0,34	-1,28	0,78
		2	12,6693	0,6996	0,47	6,45	0,68	6,23	1,22	0,60	3,88	-0,38	-1,42	0,74
		3	3,7794	-9,8446	0,62	6,17	0,72	5,96	1,20	0,60	3,81	-0,32	-1,21	0,73
	T33	1	1,7999	0,4573	0,68	5,64	0,79	5,45	0,95	0,63	4,87	-0,42	-1,74	0,88
		2	12,3197	0,5737	0,61	5,80	0,78	5,61	0,97	0,63	4,93	-0,42	-1,74	0,90
		3	3,5133	-6,9089	0,66	5,47	0,81	5,28	0,88	0,64	4,85	-0,44	-1,86	0,88

Continua...

Tabela 1.5, cont...

Idade	Trat	Mod	S_0	S_1	Ajuste					Validação				
					R ²	Erro %	r	RQEM (%)	MDA	r	RQEM (%)	Bias	Bias %	MDA
88	T50	1	1,8480	0,4603	0,90	3,88	0,92	3,75	0,70	0,58	2,75	-0,12	-0,45	0,55
		2	12,8651	0,6135	0,82	4,10	0,91	3,96	0,72	0,58	2,83	-0,15	-0,59	0,56
		3	3,5964	-7,3417	0,91	3,56	0,93	3,44	0,62	0,58	2,69	-0,13	-0,52	0,55
95	T0	1	1,8678	0,4868	0,76	5,46	0,85	5,28	1,04	0,43	4,75	-0,45	-1,64	0,94
		2	13,1045	0,7376	0,71	5,52	0,84	5,33	1,06	0,42	4,87	-0,46	-1,67	0,97
		3	3,6928	-7,4186	0,73	5,44	0,85	5,26	1,03	0,43	4,28	-0,42	-1,52	0,84
95	T25	1	1,5036	0,5995	0,72	5,16	0,80	4,98	1,05	0,53	5,29	-0,43	-1,59	1,07
		2	11,2142	0,7917	0,62	5,23	0,79	5,05	1,04	0,53	5,09	-0,42	-1,57	1,03
		3	3,8315	-10,6234	0,74	4,94	0,82	4,77	1,01	0,52	5,08	-0,41	-1,53	1,00
95	T33	1	1,6450	0,5163	0,72	5,57	0,83	5,38	1,02	0,65	4,68	0,01	0,05	0,76
		2	10,9232	0,6705	0,67	5,68	0,82	5,49	1,06	0,65	4,79	0,03	0,13	0,78
		3	3,5716	-7,6414	0,66	5,57	0,83	5,38	0,98	0,64	4,33	-0,04	-0,15	0,70
95	T50	1	1,8171	0,4733	0,93	3,20	0,94	3,09	0,56	0,55	3,69	-0,50	-1,91	0,79
		2	12,4333	0,6462	0,88	3,36	0,94	3,25	0,58	0,55	3,85	-0,51	-1,94	0,83
		3	3,6135	-7,5238	0,93	2,98	0,95	2,88	0,54	0,54	3,56	-0,54	-2,07	0,77

em que Trat é tratamento; Mod é o número do modelo; S_0 e S_1 são parâmetros do modelo; R² é o coeficiente de determinação; Erro (%) é o erro-padrão percentual; r é o coeficiente de correlação de Pearson; RQEM é a raiz quadrada do erro médio percentual; Bias é o viés, em m e percentual; e, MDA é a média das diferenças absolutas (m).

Obs.: Todos os parâmetros dos modelos foram significativos pelo Teste t à 95% de probabilidade.

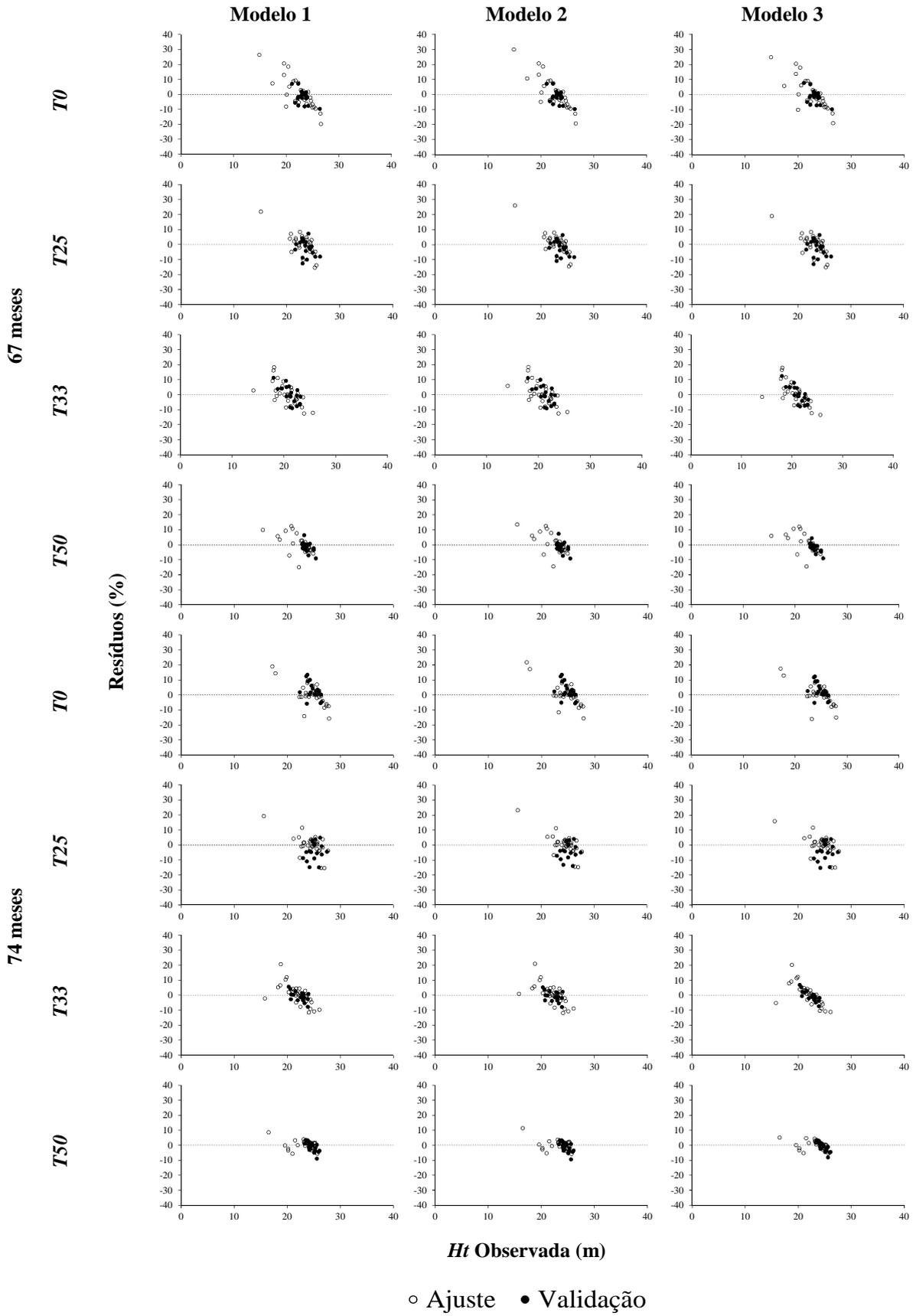


Figura 1.1, continua...

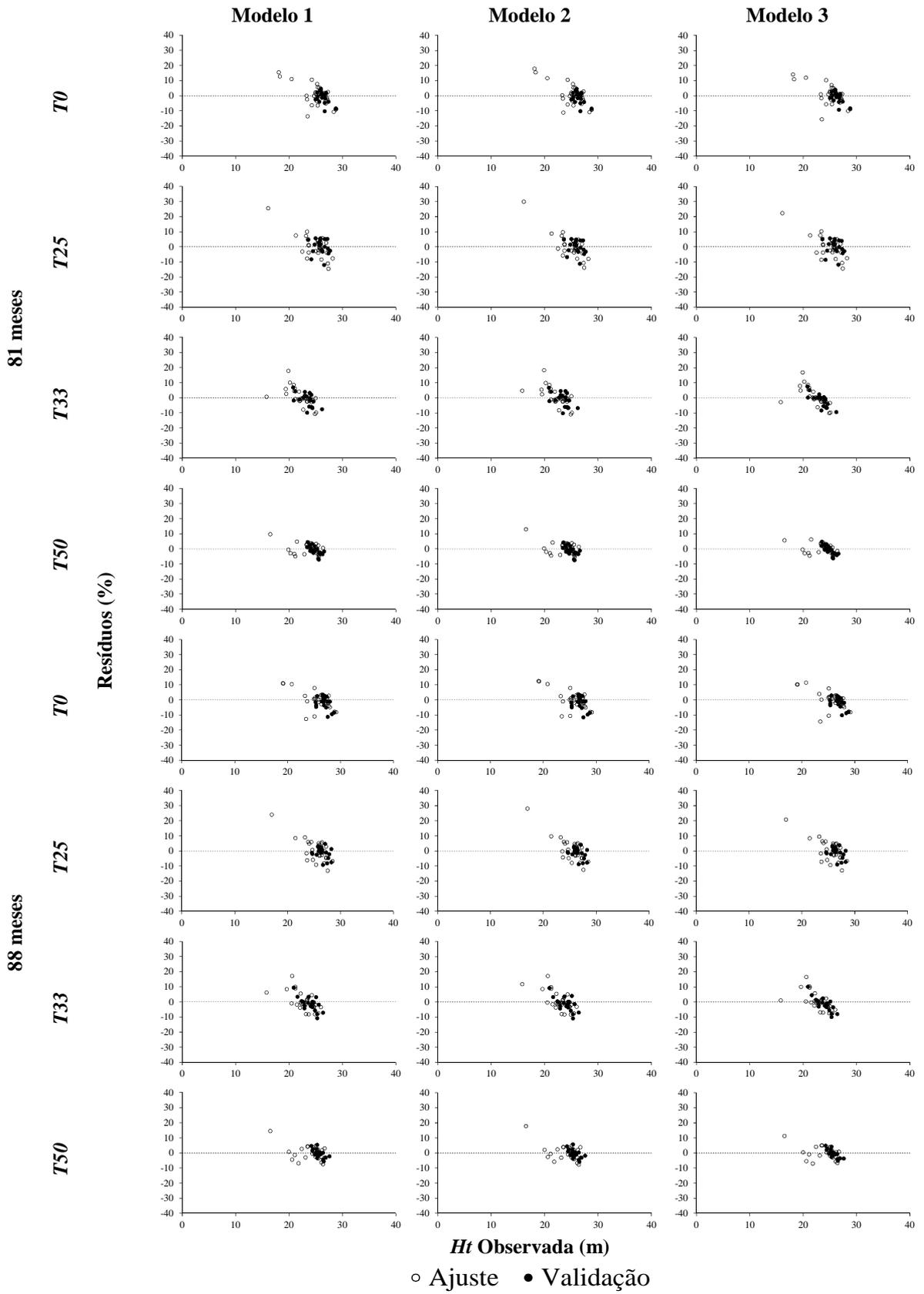


Figura 1.1, continua...

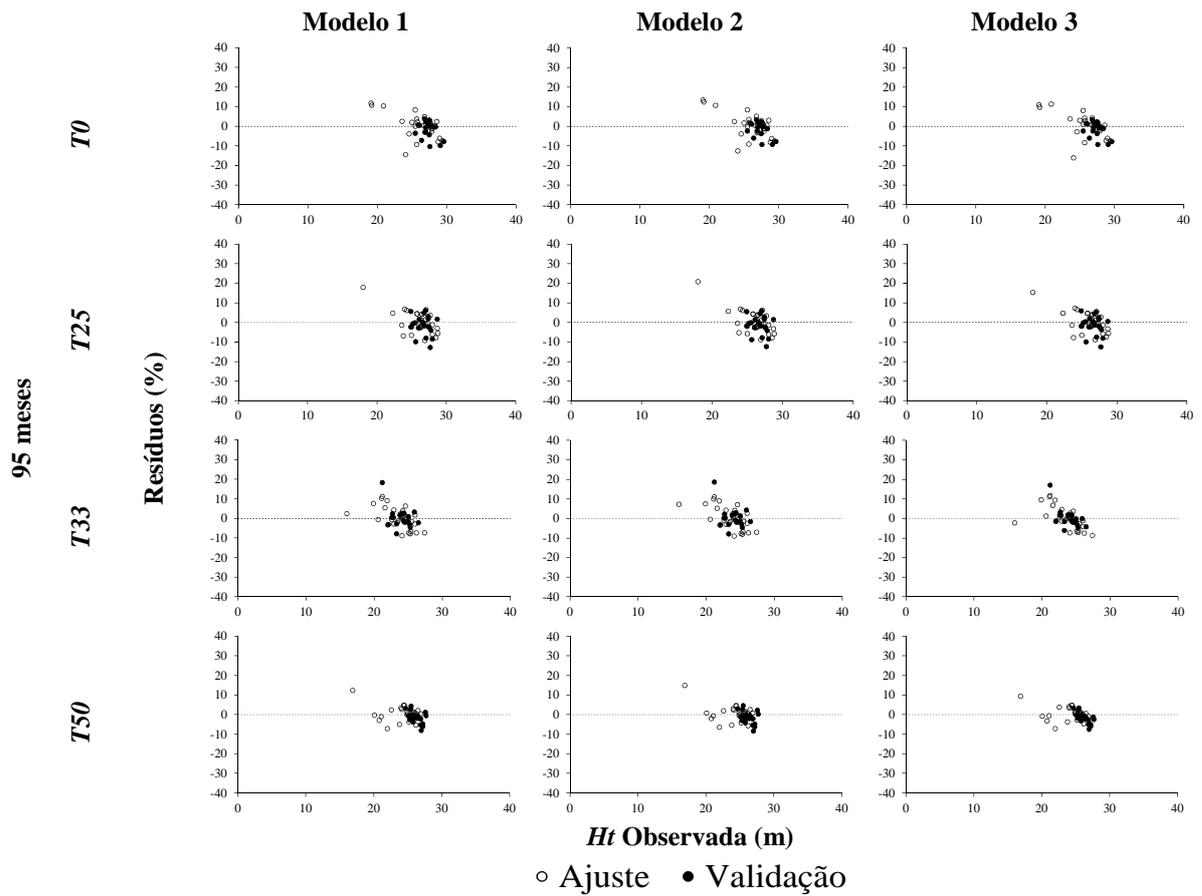


Figura 1.1 – Dispersão dos resíduos percentuais dos três modelos em função das alturas totais observadas, por idade e tratamento, para as fases de ajuste e validação.

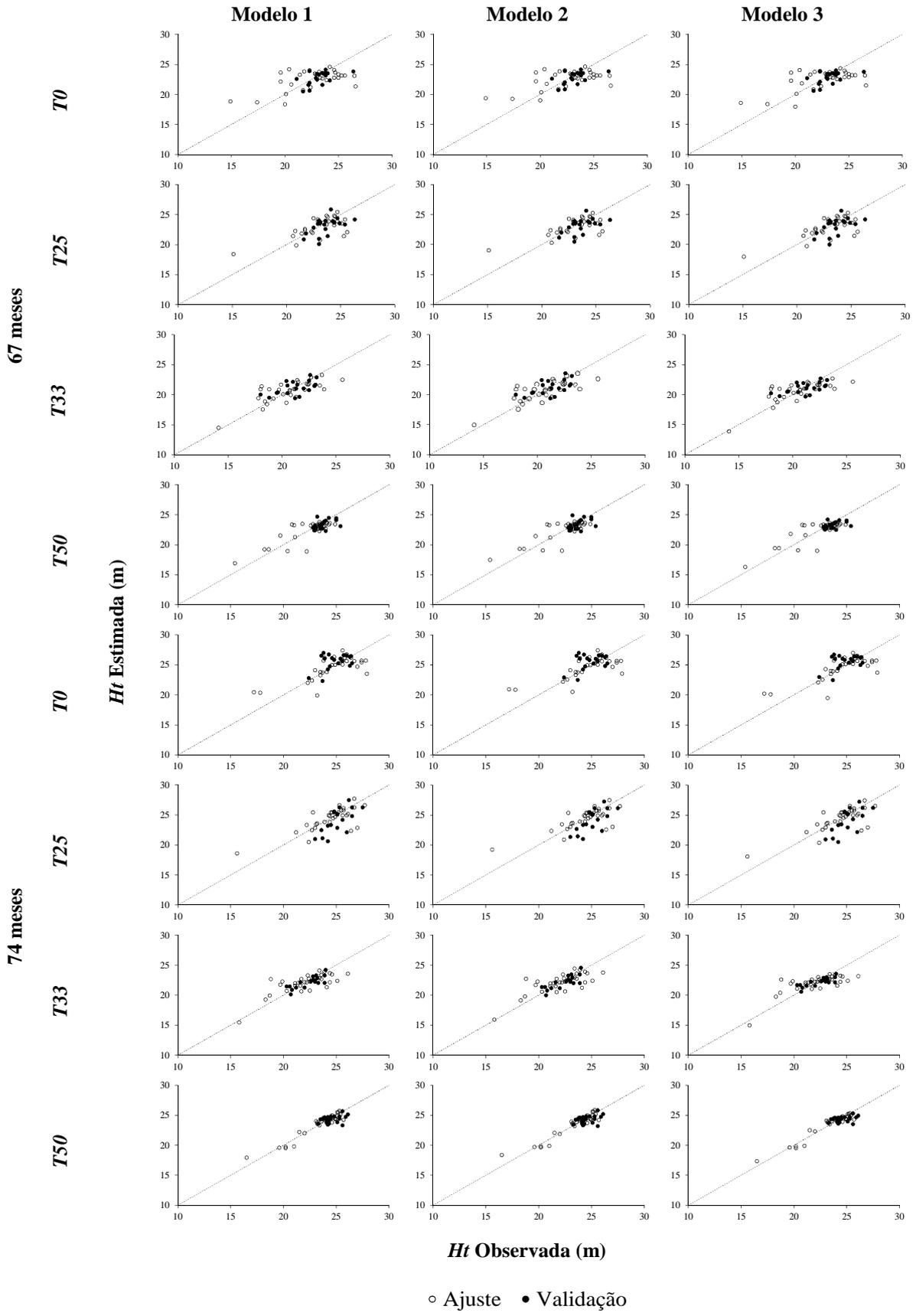


Figura 1.2, continua...

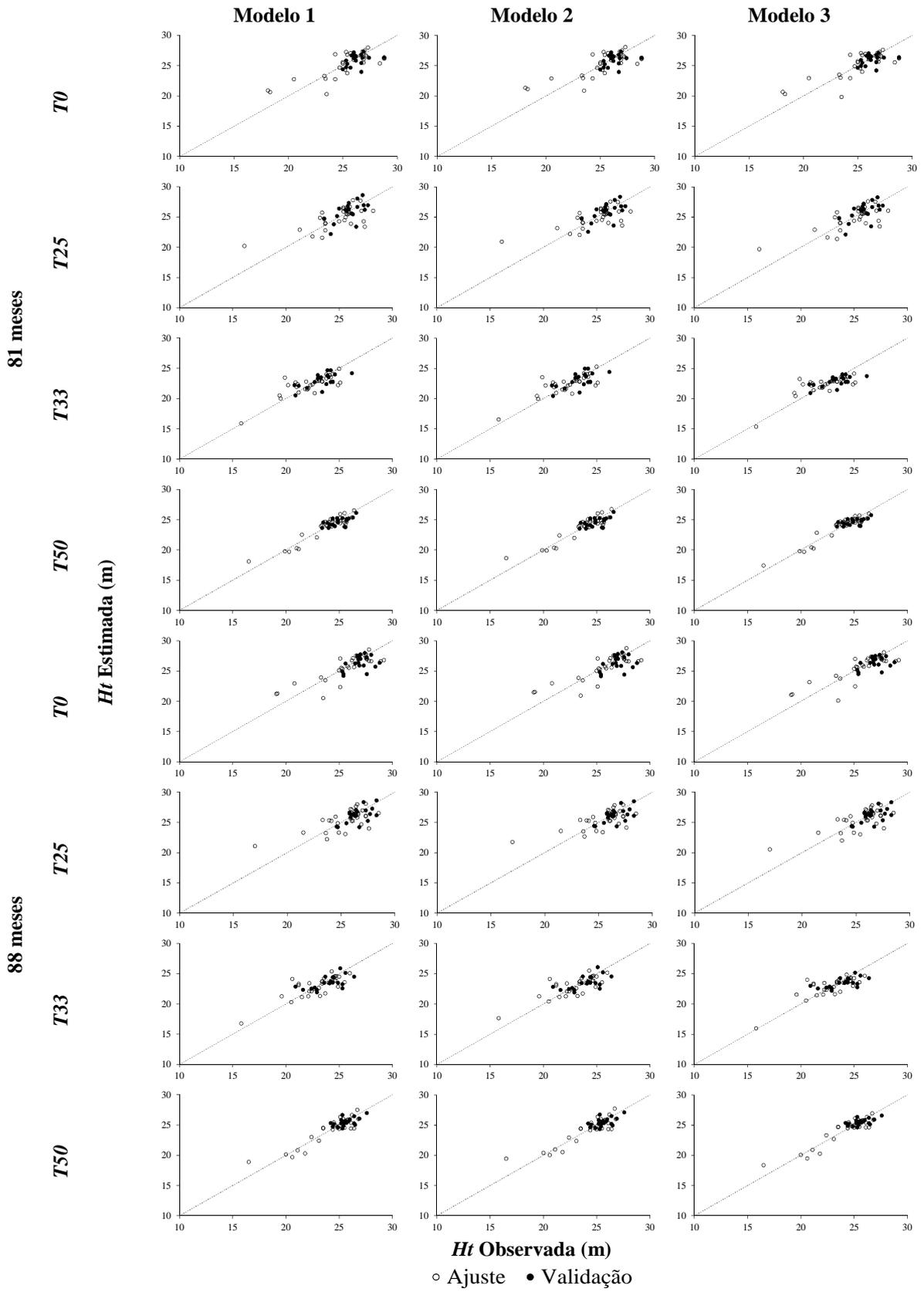


Figura 1.2, continua...

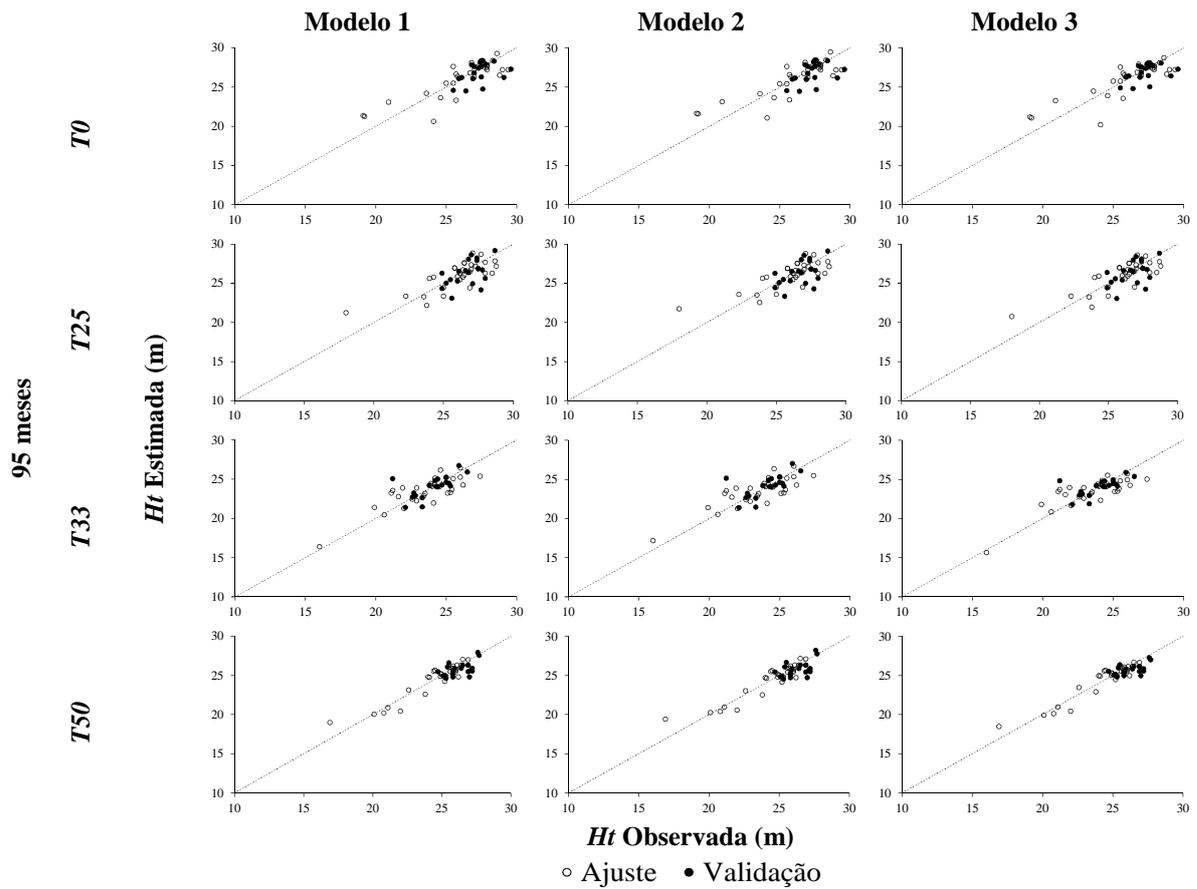


Figura 1.2 – Alturas totais estimadas *versus* observadas pelos três modelos, por idade e tratamento, para as fases de ajuste e validação. A linha pontilhada é a linha 1:1.

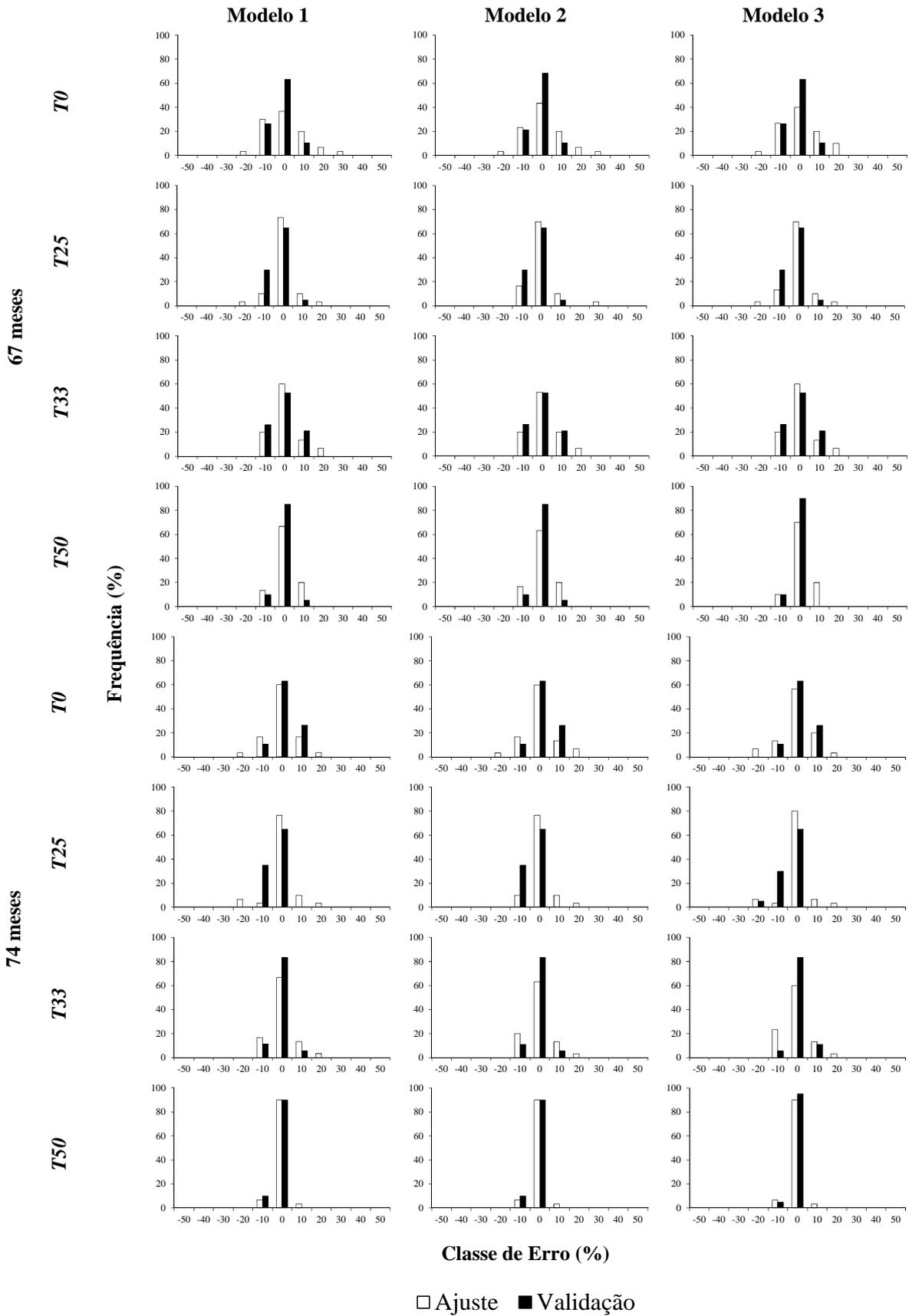


Figura 1.3, continua...

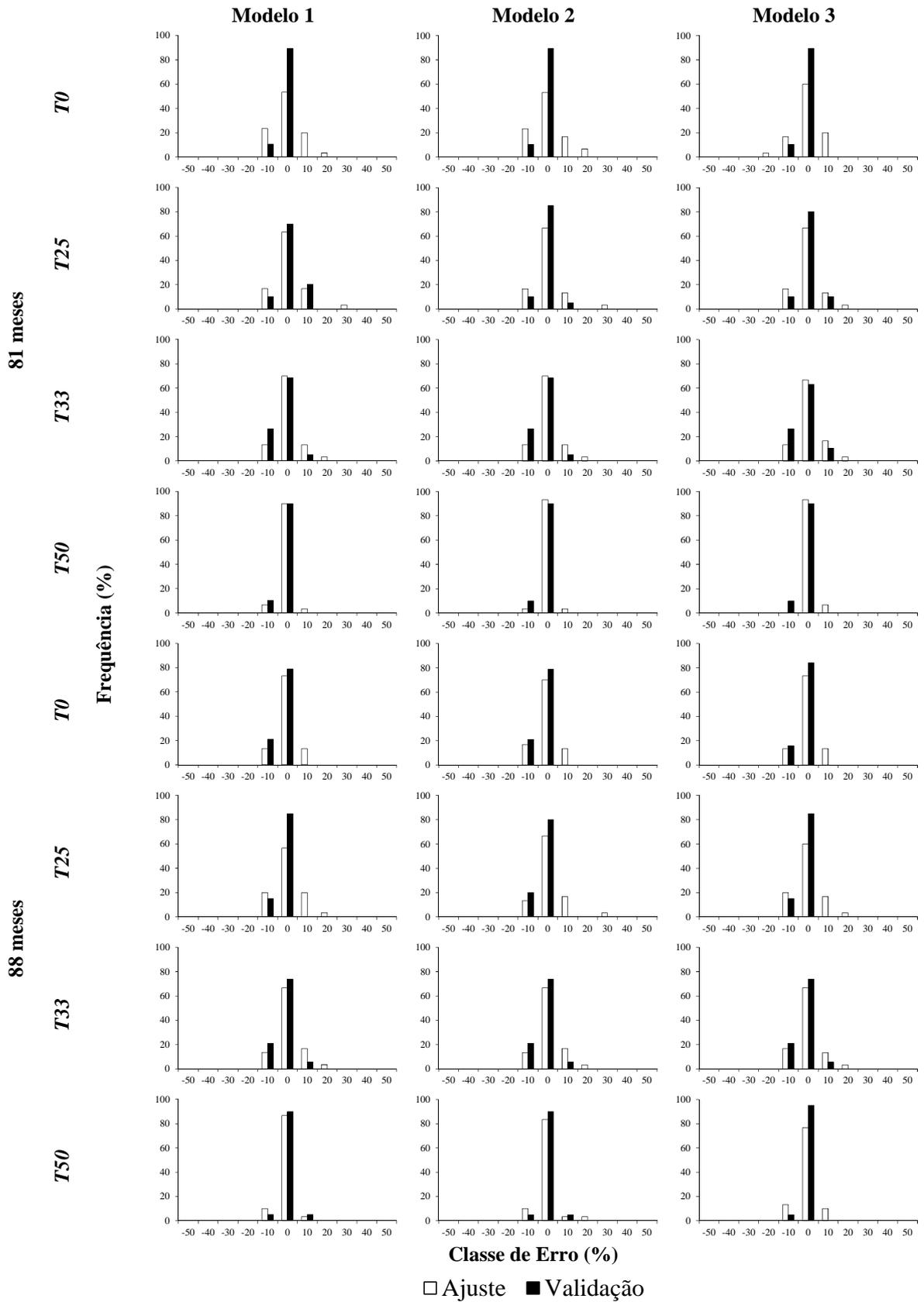


Figura 1.3, continua...

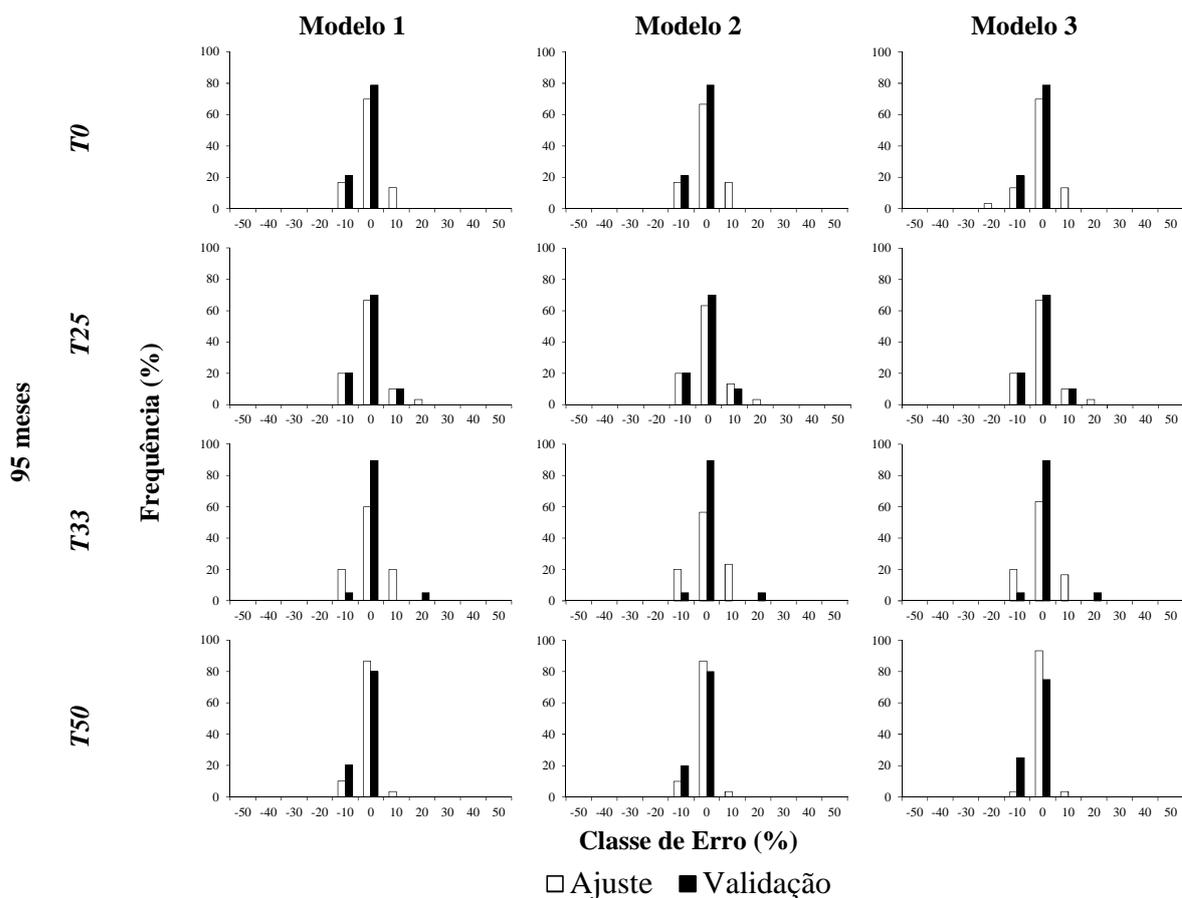


Figura 1.3 – Histograma dos resíduos percentuais dos três modelos, por idade e tratamento, para as fases de ajuste e validação.

Tabela 1.6 – Resultado do teste de identidade de modelo hipsométrico por meio do teste F, para as combinações entre os diferentes tratamentos em cada idade, em Brasília-DF

Idade	Tratamento	T0	T25	T33
67 meses	T25	1,21 ^{ns}		
	T33	5,31*	9,56*	
	T50	0,20 ^{ns}	3,67*	8,76*
74 meses	T25	6,30*		
	T33	16,34*	12,42*	
	T50	7,76*	9,04*	6,79*
81 meses	T25	3,03*		
	T33	23,46*	15,50*	
	T50	11,33*	6,76*	7,97*
88 meses	T25	2,40 ^{ns}		
	T33	27,75*	14,95*	
	T50	12,06*	4,02*	7,68*
95 meses	T25	3,41*		
	T33	26,00*	17,10*	
	T50	15,33*	7,96*	5,57*

Valor de F tabelado (3; 56) = 2,77; ^{ns} = não significativo a 5% de significância; * = significativo a 5% de significância.

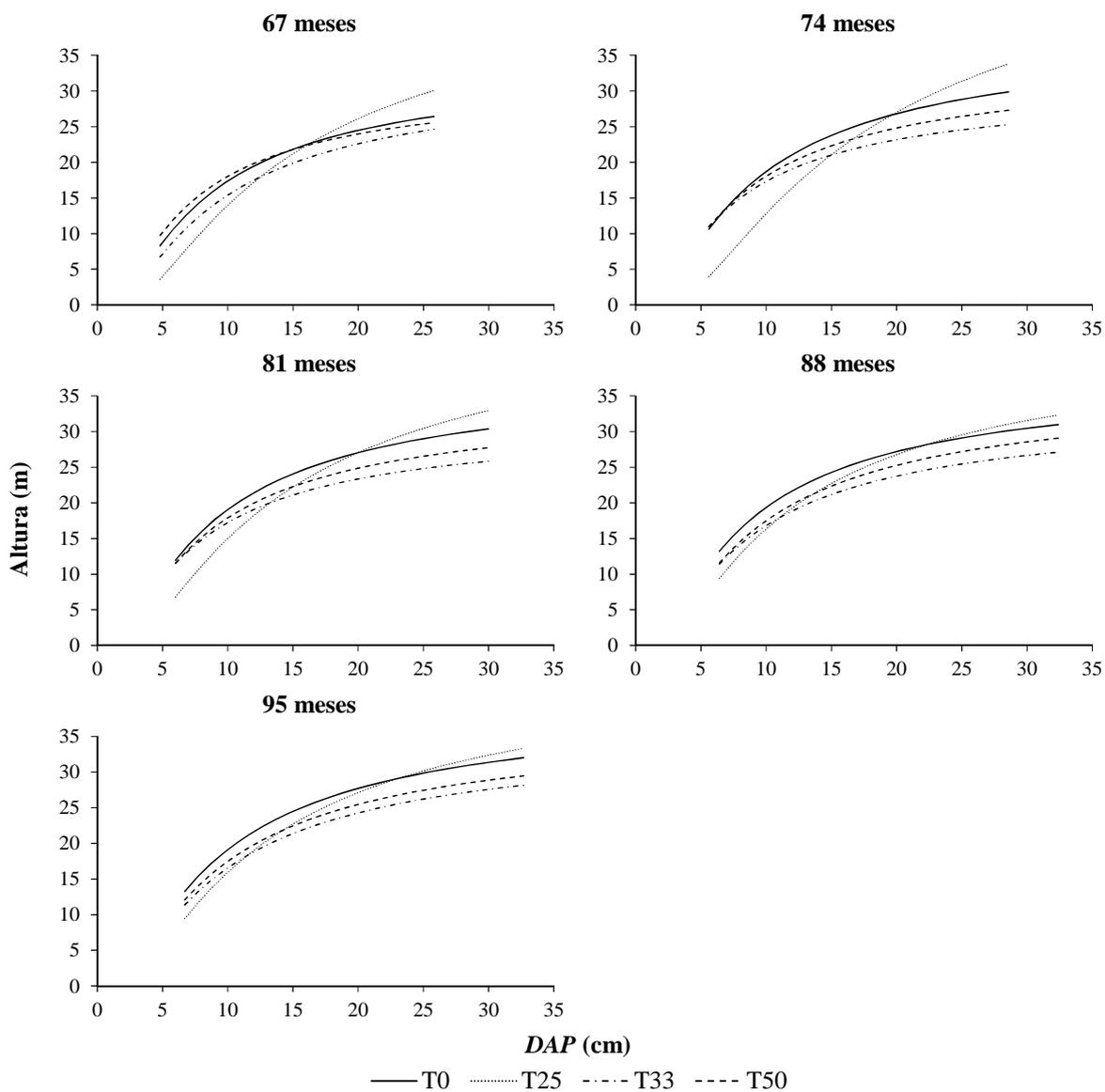


Figura 1.4 – Estimativa da altura total pelas equações hipsométricas provenientes do ajuste do modelo 3 para cada tratamento e por idade, em Brasília-DF

1.4 – DISCUSSÃO

1.4.1 – Desbaste e variáveis dendrométricas

Os desbastes objetivam estimular o crescimento das árvores remanescentes, pois permitem a distribuição do potencial produtivo do povoamento para um número menor de indivíduos (HAWLEY e SMITH, 1972). Assim após a implantação desta prática silvicultural, as árvores remanescentes apresentam aumento na taxa de crescimento devido à redução de competição entre elas e, conseqüentemente, aumento na disponibilidade de luz, água e nutrientes proporcionada pelo novo espaçamento entre plantas (LEITE et al., 2005; MONTE, et al., 2009; HAWTHORNE et al., 2013).

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que as taxas de crescimento apresentaram correlação positiva com a quantidade de árvores removidas, que por conseqüência, reduz a competição. Os tratamentos *T33* e *T50*, que receberam as maiores intensidades de desbaste, foram os que proporcionaram as maiores taxas de crescimento conforme Tabelas 1.2; 1.3 e 1.4, mostrando que quanto menor a competição restante, melhor foi a resposta obtida no crescimento. Os trabalhos de Trevisan et al. (2007), Kariuki (2008), Monte et al. (2009), Ramos et al. (2014) e Soares et al. (2017), encontraram resultados similares aos deste estudo.

Em resposta ao desbaste, as árvores remanescentes retomam o crescimento em diâmetro (CARNEIRO et al., 2012; GLENCROSS et al., 2014), o que resulta no ingresso dos indivíduos em classes de diâmetro superiores (RAMOS et al., 2014). Neste estudo pode-se inferir que o diâmetro e a área basal foram as variáveis mais influenciadas pelo desbaste, sendo elas fortemente correlacionadas.

O tratamento *T50* resultou em maior média de *DAP*, sendo igual a 19,55 cm, e *T33* foi o que proporcionou maior incremento diamétrico e em área basal. Ramos et al. (2014), estudando o efeito de desbaste sobre o crescimento de *E. grandis* em Abaeté-MG, encontraram um *DAP* médio de 19,1 cm aos 141 meses para o tratamento de 70% de desbaste contra 16,6 cm do tratamento não desbastado. Trevisan et al. (2007) encontraram incrementos diamétrico de 38% no tratamento com desbaste de 70% de área basal em povoamento de *Eucalyptus grandis* em Capivari do Sul-RS.

Glufke et al. (1997) explica que os desbastes aumentam a área basal individual pois proporcionam maior disponibilidade de luz e nutrientes, de forma que o crescimento das árvores remanescentes compensam as retiradas via desbaste, mantendo a área basal total do

povoamento quase inalterada, obtendo, no final, árvores de maiores diâmetros.

Para a variável altura total, quando se analisa os resultados por período (Tabela 1.3), nota-se que tratamentos distintos apresentam as maiores médias de crescimento, o que evidencia o fato do desbaste não influenciar o crescimento em altura total das árvores (ASSMANN, 1961; HUSCH et al., 2003; SULLIVAN, et al., 2006; MONTE et al., 2009).

O tratamento *T50* proporcionou as menores taxas de incremento em altura (13%), já para o tratamento testemunha o crescimento foi de cerca de 20,30%. Monte et al. (2009), obtiveram as menores alturas com o desbaste de 35%, em comparação à testemunha um ano após o desbaste, eles concluíram que a maior altura das plantas do povoamento sem desbaste é devido à maior competição principalmente por luz, em razão do maior número de indivíduos por hectare, que estimula o crescimento em altura.

Hawley e Smith (1972) explicam que, quando as variações de espaçamento para uma mesma espécie não são extremas, a altura final não é significativamente afetada pelo espaçamento, ao contrário do que ocorre com o crescimento em diâmetro.

Em termos de mortalidade, o comportamento esperado era de que os tratamentos submetidos às maiores intensidades de desbaste proporcionassem taxas mínimas de mortalidade (KARIUKI, 2008) devido à redução da competição entre as plantas. Os resultados encontrados neste estudo diferiram, em parte, do esperado. A maior taxa de mortalidade foi obtida no *T50* com 7,1% (Tabela 1.4) e a Tabela 1.3 mostra que no período imediatamente após o desbaste ocorreu a maior mortalidade de indivíduos neste tratamento (18 indivíduos).

Essa alta mortalidade de indivíduos pode ter sido causada devido ao impacto da colheita das árvores na implantação do desbaste neste tratamento. Como o desbaste foi realizado de forma sistemática e a remoção de árvores foi alternada dentro da mesma linha, aumentou-se a probabilidade de ocorrência de danos mecânicos aos indivíduos remanescentes, que pode ter levado ao aumento do número de árvores mortas neste tratamento.

Desconsiderando estes 18 indivíduos, a taxa de mortalidade ao final dos 35 meses para o tratamento *T50* seria em torno de 1,5%, o menor entre os tratamentos e estaria coerente com o encontrado na literatura.

Nos demais períodos avaliados (Tabela 1.3), a mortalidade ocorreu de forma aleatória entre os tratamentos, sendo mais incidente no tratamento testemunha. Ramos et al. (2014) não encontraram diferenças na mortalidade entre povoamentos desbastados e não desbastados. Porém os autores constataram tendência de aumento da mortalidade para

o povoamento não desbastado, indicando que a competição intraespecífica manteve-se elevada nas plantas daquele tratamento.

1.4.2 – Equações hipsométricas

Os valores obtidos para o coeficiente de determinação (R^2) variaram significativamente (Tabela 1.5). Essas variações observadas tanto nos valores de R^2 quanto para os valores de erro-padrão, indicam que a relação hipsométrica não é uma relação dendrométrica muito forte (ARAÚJO et al., 2012), devido a alta variabilidade das alturas para uma mesma classe de diâmetro (BARTOSZECK et al., 2004; FIGUEIREDO FILHO et al., 2010; MARTINS et al., 2016).

De maneira geral, os modelos hipsométricos proporcionaram ajustes satisfatórios e coerentes com os encontrados na literatura (SOARES et al., 2004; MACHADO et al., 2008; DAVID et al., 2016). As estatísticas de qualidade das estimativas, principalmente às da fase de validação foram muito similares, havendo uma pequena superioridade do modelo 3 em relação ao demais. Porém, para fazer a seleção das melhores equações, fez-se a análise gráfica dos resíduos percentuais, conforme sugerido por Campos e Leite (2017).

Os gráficos mostram que os modelos proporcionaram resíduos não tendenciosos, homocedásticos, valores estimados e observados tendendo a uma reta 1:1 e histogramas de frequência tendendo a curva normal com média em zero, indicando que pressuposição de normalidade dos erros foi atendida (CAMPOS e LEITE, 2017).

Verificando as Figuras 1.1, 1.2 e 1.3 pode-se confirmar a superioridade do modelo 3 em relação aos demais devido à menor dispersão dos pontos, principalmente nas estimativas destinadas à validação dos modelos, confirmando a tendência de superioridade indicada nas estatísticas de qualidade.

Outros autores testando relações hipsométricas confirmaram a superioridade do modelo de Curtis (3) na estimação da altura total de árvores (SOARES et al., 2004; MACHADO et al., 2008; ARAÚJO et al., 2012; DAVID et al., 2016).

1.4.3 – Teste de Identidade de Modelos hipsométricos

O teste de Identidade de modelos apresentou-se significativo ao nível de 5% na maioria das combinações entre os tratamentos testados (Tabela 1.6), indicando que não é possível aplicar uma única equação ajustada para todos os tratamentos testados.

Conforme os resultados obtidos, os desbastes não afetam significativamente o crescimento em altura, mas afetam significativamente o crescimento em diâmetro (HAWLEY e SMITH, 1972). Essas alterações nos incrementos diamétricos resultam em variações na relação altura-diâmetro entre os tratamentos, o que explica os resultados obtidos nos testes.

O teste de Identidade de Modelos foi não significativo ao nível de 5% para as comparações entre os tratamentos $T0$ e $T25$; $T0$ e $T50$ aos 67 meses e, $T0$ e $T25$ aos 88 meses (Tabela 1.6), indicando que é possível utilizar apenas uma equação para estimar a altura total das árvores destes tratamentos nas referidas idades.

1.5 – CONCLUSÕES

As intensidades de desbaste influenciam o crescimento em DAP e área basal por hectare, porém pouco influencia o crescimento em altura total.

O modelo hipsométrico desenvolvido por Curtis proporciona estimativas consistentes da altura total das árvores, por idade e para os diferentes tratamentos.

As alterações nos incrementos diamétricos proporcionadas pelo desbaste impossibilita a utilização de uma única equação hipsométrica para os diferentes tratamentos em cada idade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n.6, p.711-728, 2013.

ARAÚJO, E. J. G.; PALISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; NETTO, S. P.; 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.

ARAÚJO, L. V. C.; PAULO, M. C. S.; PAES, J. B. Características dendrométricas e densidade básica da Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) de duas regiões do estado da Paraíba. **Revista Caatinga**, v.20, n.1, p. 89-96, 2007.

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

AZEVEDO, T. L.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; SANQUETTA, C. R.; NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p.105-112, 2011.

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

BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M. Prognose em nível de povoamento de clones de eucalipto empregando redes neurais artificiais. **Cerne** v.21, n.1, p.97-105, 2015.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 5ª ed. Viçosa: UFV, 2017. 636 p.

CARNEIRO, J. G. A. FERRAZ, T. M.; SILVA, M. P. S.; BARROSO, D. G. **Princípios de Desrama e Desbastes Florestais**. 1ª ed. Campos dos Goytacazes, 2012. 96 p.

CURTIS, R. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. **Forest Science**, Lawrence, v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.

DAVID, H. C.; ARCE, J. E.; NETTO, S. P.; CORTE, A. P. D.; FILHO, A. M.; ARAÚJO, E. J. G. Efeito do desbaste e da qualidade do sítio na relação hipsométrica de *Pinus taeda*. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.2; p.220-228, 2016.

DAVID, H. C.; PÉLLICO NETTO, S.; ARCE, J. E.; CORTE, A. P. D.; MARINHESKI FILHO, A.; ARAÚJO, E. J. G. de. Efeito da Qualidade do Sítio e do Desbaste na Produção de Pinus. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. Emprego

de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de Eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.731-739, 2005.

DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHER, R.; ROSA, G. D. Relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. **Ciência Rural**, v. 40, n.12, p.2499-2504, 2010.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; KOHLER, S. V.; VERUSSA, A. A.; CHIQUETTO, A. L. Evolution of the hypsometric relationship in *Araucaria angustifolia* plantations in the mid-south region of Paraná State. **Cerne**, Lavras, MG, v.16, n.3, p.347-357, 2010.

GLENCROSS, K.; PALMER, G.; PELLETIER, M. C.; NICHOLS, J. D.; SMITH, R. G. B. Basal area increment is unaffected by thinning intensity in young *Eucalyptus dunnii* and *Corymbia variegata* plantations across different quality sites. **Forest Ecology and Management**. n.318, p.326–333. 2014.

GLUFKE, C.; FINGER, C. A. G.; SCHENEIDER, P. R. Crescimento de *Pinus elliotti* Engelm sob diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p.11-26, 1997.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, G. F.; NAPPO, M. E.; TOMAZELO FILHO, M. Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.34, n.5, p.947-959, 2010.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of linear model**. Belmont: Duxbury, 1976. 704 p.

HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: M. N. PINTO (Ed.); **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília - DF: Editora Universidade de Brasília, p. 309–330, 1990.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **Silvicultura prática**. Barcelona: Omega. 544 p. 1972.

HAWTHORNE, S. N. D.; LANE, P. N. J.; BREN, L. J.; SIMS, N. C. The long term effects of thinning treatments on vegetation structure and water yield. **Forest Ecology and Management**. n.310, p.983–993. 2013.

HOFFMAN, R. G.; SILVA, G. F.; CHICHORRO, J. F.; FERREIRA, R. L. C.; VESCOVI, L. B.; ZANETI, L. Z. Caracterização dendrométrica de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.4, p.675-684, 2011.

HSING, T.Y.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Características dendrométricas, químicas e densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 273-283, 2016.

HUSCH, B.; BEERS, T.W.; KERSHAW JR, J.A. **Forest mensuration**. 4ª Ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 443 p.

KARIUKI, M. Modelling the impacts of various thinning intensities on tree growth and survival in a mixed species eucalypt forest in central Gippsland, Victoria, Australia. **Forest Ecology and Management**. n.256, p.2007–2017. 2008.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A.; CARVALHO, A. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.2, p.271-280, 2005.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Efeito do desbaste e da fertilização na porcentagem de casca e conicidade de toras de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 41, n. 2, p. 305-312, 2011.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTINCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 5-16, 2008.

MARTINS, E. R.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; DUTRA, G. C. Configuração de redes neurais artificiais para estimação da altura total de árvores de eucalipto. **Revista Agrária**, Recife-PE, v.11, n.2, p.117-123, 2016.

MONTE, M. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; LEITE, H. G.; CACAU, F. V.; ALVES, F. F. Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 5, p. 777-787, 2009.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. 4th ed. Chicago: Irwin, 1996. 1408p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 1989. 422p.

OZÇELIK, R.; DIAMANTOPOULOU, M.J.; BROOKS, J.R.; WIANT, H.V. J. Estimating tree bole volume using artificial neural network models for four species in Turkey. **Journal of Environmental Management**. v. 91 n.03 p.742-753, 2010.

RAMOS, D. C.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; STOCKS, J. J.; LIMA, A. P. L. FARIA, R. S. Thinning effect on plant growth of pruned eucalypt clone. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.3, p.495-503, 2014.

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.

SOARES, A. A. V.; LEITE, H. G.; CRUZ, J. P.; FORRESTER, D. I. Development of stand structural heterogeneity and growth dominance in thinned *Eucalyptus* stands in Brazil. **Forest Ecology and Management**. n.384, p.339–346. 2017.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2011. 272 p.

SOARES, T. S.; SCOLFORO, J. R. S.; FERREIRA, S. O.; MELLO, J. M. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**,

Viçosa-MG, v. 28, n. 6, p. 845-854, 2004.

STOFFELS, A.; SOEST, J. van. The main problems in sample plots. **Ned Bosbouwtijdschr**, v. 25, p. 190-199, 1953.

SULLIVAN, T. P.; SULLIVAN, D. S.; LINDGREN, P. M. F.; RANSOME, D. B. Long-term responses of ecosystem components to stand thinning in young lodgepole pine forest III. Growth of crop trees and coniferous stand structure. **Forest Ecology and Management**, v.228, n.1-3, p.69-81, 2006.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; MENESES, 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.

VIDAURRE, G. B., NUTTO, L.; NISTA, F. J. F.; BRAZ, R. L.; WATZLAWICK, L. F.; MOULIN, J. C. Tensão de crescimento no lenho de *Eucalyptus benthamii* e sua relação com características dendrométricas em diferentes espaçamentos. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.3, 2015.

CAPÍTULO II

ÍNDICES DE COMPETIÇÃO EM POVOAMENTO DE EUCALIPTO SUBMETIDO A DESBASTE

RESUMO - Desbastes alteram o ritmo de crescimento das árvores remanescentes em consequência da redução da competição, porém nem todos os índices de competição são matematicamente coerentes e capazes de expressar esse efeito. O objetivo deste estudo foi propor, estimar e avaliar índices de competição independentes e semi-independentes da distância em árvores individuais de um povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste. Os tratamentos de desbaste estudados foram: *T0*: testemunha (sem desbaste); *T25*: redução de 25% no número de indivíduos; *T33*: redução de 33%; e *T50*: redução de 50%. O povoamento foi mensurado aos 60 (antes da intervenção), 67, 74, 81, 88 e 95 meses. Foram estimados índices de competição independentes da distância (IID) tradicionais e semi-independentes da distância (ISD) considerando 8 e 24 árvores competidoras, sendo uma e duas adjacências, respectivamente. Também foi avaliada a inclusão da variável AB_{24} , somatório das áreas seccionais das 24 árvores mais próximas à árvore-objeto, no cálculo dos índices de competição anteriores. No total, foram estudados 30 índices de competição. Para avaliação dos índices de competição foi calculada a correlação linear entre os índices e os crescimentos em diâmetro e altura total. Também foram feitas análises gráficas das tendências médias dos índices em relação a idade e comparados com as tendências observadas de crescimento em diâmetro e altura total. A mortalidade não foi avaliada neste estudo por ter sido insignificante. Por fim, testou-se a contribuição estatística dos índices em modelos de regressão para explicar os crescimentos observados via teste F-parcial. Os resultados permitiram concluir que apenas o BAL foi eficiente para representar a competição em povoamentos desbastes entre os índices independentes da distância tradicionais; Os índices semi-independentes da distância com 8 e 24 árvores não foram eficientes para captar o efeito dos desbastes. A inclusão da variável AB_{24} resultou nos melhores índices para descrever a competição entre árvores em povoamentos desbastados.

Palavras-chave: índices independentes da distância; índices semi-independentes da distância; espaçamento; Teste F-parcial.

2.1 – INTRODUÇÃO

Em povoamentos florestais, as árvores estão em contínuo estado de competição, seja no espaço aéreo pela luz, ou no solo pela água e nutrientes (PEDERSEN et al., 2012). Apesar das dificuldades para sua quantificação (OHEIMB et al., 2011), a competição por recursos é uma fonte de variação bastante estudada na modelagem do crescimento e produção de árvores individuais (FRAVER et al., 2014), podendo ser avaliada através dos índices de competição (IC) (METZ et al., 2013).

O uso dos IC tornou-se parte importante do gerenciamento florestal em todo o mundo (PEDERSEN et al., 2013). Uma variedade de modelos de árvores individuais incorpora a competição como um parâmetro para estimar o crescimento (PRETZSCH e BIBER, 2010; CONTRERAS et al., 2011; POMMERENING e MALEKI, 2014; BÉRUBÉ-DESCHÊNES et al., 2017), a mortalidade (ADAME et al., 2010; PELTONIEMI e MÄKIPÄÄ, 2011; DAS et al., 2011) e o recrutamento (TAUTENHAHN et al., 2012; DUCHESNE e PRÉVOST, 2013; MUGASHA et al., 2016). Estes também podem auxiliar na identificação e diferenciação do estresse competitivo da árvore-objeto em relação às suas competidoras (CANHAM et al., 2006), na distinção entre a competição acima e abaixo do solo (CANHAM et al., 2004; COATES et al., 2009), na separação da competição intra e inter-específica (KUNSTLER et al., 2016), na compreensão de mecanismos de competição e facilitação (interações positivas e negativas) (RÍO et al., 2013) e na identificação de mudanças nas interações competitivas através do tempo (HARTMANN e MESSIER, 2011).

Na literatura são descritos os índices de competição independentes da distância (IID), dependentes da distância (ID) e semi-independentes da distância (ISD) (DANIELS et al., 1986; STAGE e LEDERMANN, 2008; LEDERMAN, 2010). O que diferencia conceitualmente cada categoria é o critério utilizado para expressar as relações entre as árvores (CASTRO et al., 2014).

Os índices independentes da distância (não espacialmente explícitos) utilizam variáveis baseadas na densidade do povoamento e dimensões individuais das árvores objetos (área basal, diâmetro médio e altura). Os índices dependentes da distância (espacialmente explícitos), além das variáveis mencionadas anteriormente, também incorporam as localizações relativas e dimensões das árvores vizinhas ou competidoras (CONTRERAS et al., 2011). Já os índices semi-independentes da distância são similares aos independentes da distância, porém eles são calculados através da seleção das árvores vizinhas mais próximas da

árvore objeto, ao invés de todas as árvores da parcela (STAGE e LEDERMANN, 2008; LEDERMAN, 2010).

Estudos têm sido realizados com o intuito de comparar as diferentes categorias de índices de competição (MARTINS et al., 2011; ORELLANA et al., 2016). Entretanto a literatura não indica claramente se os índices dependentes da distância são mais eficazes que os independentes (WEISKITTEL et al., 2011). Além disso, a maior parte dos estudos com índices de competição foi realizada em florestas nativas e povoamentos não desbastados de regiões temperadas (CAO, 1997; ZHANG et al., 1997), sendo escassos os estudos em povoamentos submetidos a diferentes regimes de desbaste no Brasil.

É sabido que, após práticas silviculturais de desbaste, as árvores remanescentes retomam o crescimento (HAWLEY e SMITH, 1972) em consequência da redução da competição e aumento da disponibilidade dos fatores de crescimento (HAWTHORNE et al., 2013). Porém nem todos os índices de competição são matematicamente coerentes e capazes de expressar o efeito do desbaste no crescimento das árvores, o que justifica a realização de estudos sobre índices de competição em povoamentos desbastados.

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo propor, estimar e avaliar índices de competição independentes e semi-independentes da distância em árvores individuais de um povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, além de identificar aqueles índices que mais se correlacionam com o crescimento das árvores.

2.2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 – Local de estudo e dados

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL/UnB) em Brasília-DF. A FAL está localizada entre as coordenadas geográficas 15° 56' - 15° 59'S e 47° 55' - 47° 56'W, e encontra-se a uma altitude média de 1.100 m. O clima da região, conforme a classificação de Köppen, é do tipo Aw (ALVARES et al., 2013), sendo caracterizado por duas estações bem definidas, uma quente e chuvosa que ocorre no período de outubro a abril, e outra fria e seca, que acontece de maio a setembro. A temperatura média anual é de 22,1° C com precipitação média anual de 1469 mm (NIMER, 1989). O solo predominante na região é o Latossolo Vermelho Amarelo, distrófico, com alto teor de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio (HARIDASAN, 1990).

Os dados utilizados são provenientes de um povoamento florestal de aproximadamente 2,1 hectares implantado com um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em espaçamento inicial de 3,0 x 2,0 m.

Aos 60 meses foi realizado o desbaste sistemático por árvores alternadamente dentro da mesma fileira. Para isso, a área de estudo foi dividida em quatro partes de mesmo tamanho e os tratamentos aplicados corresponderam à diferentes porcentagens de redução no número de indivíduos, sendo: *T0*: testemunha (não houve desbaste); *T25*: redução de 25% no número de indivíduos; *T33*: redução de 33% no número de indivíduos; e *T50*: redução de 50% no número de indivíduos.

A primeira coleta de dados ocorreu aos 60 meses (antes da intervenção) e as demais aos 67, 74, 81, 88 e 95 meses. As variáveis mensuradas foram: o diâmetro a 1,30 m de altura (*DAP*) de todos os indivíduos com uma suta e a altura total (*Ht*) de 50 árvores para cada tratamento com auxílio de clinômetro digital. As alturas foram mensuradas apenas a partir dos 67 meses, sendo que as mesmas árvores foram remedidas em cada idade.

Para estimar a altura total das demais árvores utilizou-se o modelo hipsométrico proposto por Curtis (1967), ajustado por tratamento e idade conforme descrito no capítulo 1. As equações obtidas aos 67 meses foram utilizadas, em seus respectivos tratamentos, para estimar a altura total das árvores aos 60 meses.

2.2.2 – Índices de competição (IC)

Para cada fuste, em cada idade, foram estimados índices de competição independentes da distância (IID) e semi-independentes da distância (ISD).

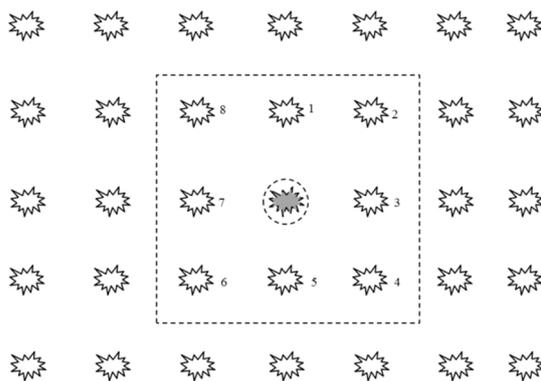
No cálculo dos índices independentes da distância considerou-se como árvores competidoras à árvore-objeto todas as demais integrantes do tratamento.

Os índices semi-independentes da distância foram calculados com base em duas metodologias diferentes. A primeira, denominada de 1ª adjacência, consistiu em calcular os índices de competição independentes da distância com base nas oito árvores mais próximas à árvore-objeto. Na segunda metodologia, denominada de 2ª adjacência, o cálculo dos índices independentes da distância foi restrito às 24 árvores mais próximas à árvore-objeto, conforme é apresentado na Figura 2.1.

Esta metodologia foi adaptada dos trabalhos de Hegyi (1974), Béland et al. (2003), Contreras et al. (2011), Das et al. (2011) e Castro et al. (2015), que utilizaram critérios de

distância (raios) em torno da árvore-objeto para definir quais as árvores vizinhas são efetivamente competidoras, e incluídas no cálculo.

Com o intuito de obter índices de competição sensíveis ao efeito do desbaste no crescimento das árvores, foi proposta a inclusão do somatório das áreas seccionais das 24 árvores mais próximas à árvore-objeto (AB_{24}) nas estimativas dos índices de competição independentes e semi-independentes da distância.

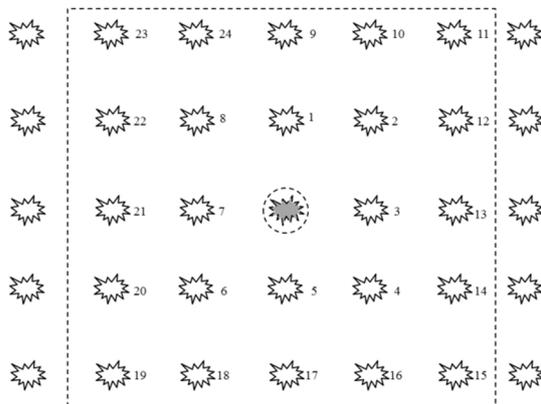


(a)

1ª adjacência

Número de árvores competidoras = 8

Área competitiva = 54 m^2



(b)

2ª adjacência

Número de árvores competidoras = 24

Área competitiva = 150 m^2

Figura 2.1 – Ilustração do povoamento visto de cima, mostrando a posição das árvores competidoras na 1ª (a) e na 2ª (b) adjacência. Em que  representa a árvore-objeto e  representam as árvores competidoras.

Foram avaliados cinco índices independentes da distância propostos por Glover e Hool (1979) e Stage (1973), e suas variações desenvolvidas para atender as metodologias da 1ª e 2ª adjacência e também a inclusão da variável área basal das 24 árvores mais próximas à árvore-objeto. Desta forma, foram estimados um total de 30 índices de competição e suas relações matemáticas são apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Relação funcional dos índices de competição independentes e semi-independentes da distância estimados em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, em Brasília-DF

Índice	Informações	Equação
$IID_1 = \frac{DAP_i^2}{DAP^2}$	Proposto por Glover e Hool (1979), calculado ao nível de tratamento.	(2.1)
$IID_2 = \frac{Ht_i}{Ht}$	Proposto por Glover e Hool (1979), calculado ao nível de tratamento.	(2.2)
$IID_3 = \frac{DAP_i^2 Ht_i}{DAP^2 Ht}$	Proposto por Glover e Hool (1979), calculado ao nível de tratamento.	(2.3)
$IID_4 = \frac{AS_i^2}{ASq^2}$	Proposto por Stage (1973), calculado ao nível de tratamento.	(2.4)
BAL_i	Proposto por Stage (1973), calculado ao nível de tratamento.	(2.5)
$ISD8_1 = \frac{DAP_i^2}{DAP_n^2}$	Adaptado de Glover e Hool (1979), calculado considerando a 1ª adjacência.	(2.6)
$ISD8_2 = \frac{Ht_i}{Ht_n}$	Adaptado de Glover e Hool (1979), calculado considerando a 1ª adjacência.	(2.7)
$ISD8_3 = \frac{DAP_i^2 Ht_i}{DAP_n^2 Ht_n}$	Adaptado de Glover e Hool (1979), calculado considerando a 1ª adjacência.	(2.8)
$ISD8_4 = \frac{AS_i^2}{ASq_n^2}$	Adaptado de Stage (1973), calculado considerando a 1ª adjacência.	(2.9)
$ISD8_{BAL} = BAL_n$	Adaptado de Stage (1973), calculado considerando a 1ª adjacência.	(2.10)
$ISD24_1 = \frac{DAP_i^2}{DAP_n^2}$	Adaptado de Glover e Hool (1979), calculado considerando a 2ª adjacência.	(2.11)
$ISD24_2 = \frac{Ht_i}{Ht_n}$	Adaptado de Glover e Hool (1979), calculado considerando a 2ª adjacência.	(2.12)
$ISD24_3 = \frac{DAP_i^2 Ht_i}{DAP_n^2 Ht_n}$	Adaptado de Glover e Hool (1979), calculado considerando a 2ª adjacência.	(2.13)
$ISD24_4 = \frac{AS_i^2}{ASq_n^2}$	Adaptado de Stage (1973), calculado considerando a 2ª adjacência.	(2.14)
$ISD24_{BAL} = BAL_n$	Adaptado de Stage (1973), calculado considerando a 2ª adjacência.	(2.15)
$NIID_1 = \frac{DAP_i^2}{DAP^2} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice IID ₁ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.16)
$NIID_2 = \frac{Ht_i}{Ht} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice IID ₂ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.17)

Continua...

Tabela 2.1, cont...

Índice	Informações	Equação
$NIID_3 = \frac{DAP_i^2 Ht_i}{\overline{DAP}^2 \overline{Ht}} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice IID ₃ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.18)
$NIID_4 = \frac{AS_i^2}{ASq^2} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice IID ₄ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.19)
$NBAL = BAL_i \times AB_{24}$	Índice IID ₅ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.20)
$NISD8_1 = \frac{DAP_i^2}{\overline{DAP}_n^2} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice ISD ₈₁ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.21)
$NISD8_2 = \frac{Ht_i}{Ht_n} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice ISD ₈₂ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.22)
$NISD8_3 = \frac{DAP_i^2 Ht_i}{\overline{DAP}_n^2 \overline{Ht}_n} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice ISD ₈₃ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.23)
$NISD8_4 = \frac{AS_i^2}{ASq_n^2} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice ISD ₈₄ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.24)
$NISD8_{BAL} = BAL_n \times AB_{24}$	Índice ISD _{8BAL} com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.25)
$NISD24_1 = \frac{DAP_i^2}{\overline{DAP}_n^2} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice ISD ₂₄₁ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.26)
$NISD24_2 = \frac{Ht_i}{Ht_n} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice ISD ₂₄₂ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.27)
$NISD24_3 = \frac{DAP_i^2 Ht_i}{\overline{DAP}_n^2 \overline{Ht}_n} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice ISD ₂₄₃ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.28)
$NISD24_4 = \frac{AS_i^2}{ASq_n^2} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice ISD ₂₄₄ com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.29)
$NISD24_{BAL} = BAL_n \times AB_{24}$	Índice ISD _{24BAL} com a inclusão da variável AB ₂₄	(2.30)

em que: DAP_i = diâmetro com casca do fuste da árvore-objeto, medido a 1,30 m (cm); \overline{DAP} = média aritmética dos diâmetros dos fustes da unidade amostral (cm); Ht_i = altura total do fuste da árvore-objeto (m); \overline{Ht} = altura média dos fustes da unidade amostral (m); AS_i = área seccional do fuste da árvore-objeto, medido a 1,30 m de altura (m²), ASq = área seccional correspondente ao diâmetro médio (q) dos fustes das árvores vizinhas (m²); BAL_i = somatório das áreas seccionais dos fustes das árvores vizinhas maiores que o fuste da árvore-objeto (m².ha⁻¹); n = número de fustes competidores limitados a 8 ou 24 árvores; \overline{DAP}_n = média aritmética dos diâmetros dos fustes de 8 ou 24 árvores próximas da árvore-objeto (cm); \overline{Ht}_n = altura média dos fustes de 8 ou 24 árvores próximas da árvore-objeto (m); ASq_n = área seccional (m²) correspondente ao diâmetro médio (q) dos fustes das 8 ou 24 árvores vizinhas; AB_{24} = somatório das áreas seccionais das 24 árvores mais próximas à árvore-objeto (m²).

2.2.3 – Avaliação dos Índices de Competição

Para avaliar os índices de competição estimados, foi calculada a correlação linear de Pearson entre os índices e as variáveis dendrométricas, idade, crescimento em diâmetro (*DAP*) e o crescimento em altura (*Ht*), obtidos entre cada intervalo de medição (SÁNCHEZ-GONZALES et al., 2006; MARTINS et al., 2011; CHASSOT et al., 2011). As árvores que apresentaram crescimentos negativos (cerca de 1% das observações) foram desconsideradas no cálculo das correlações. A significância das correlações foi avaliada ao nível de 95% de probabilidade.

A mortalidade não foi avaliada neste estudo devido aos baixos valores observados no capítulo 1, sugerindo ocorrência de mortalidade do tipo irregular. Campos e Leite (2017) relatam que em plantações desbastadas, geralmente a ocorrência de mortalidade é mínima.

Para verificar o comportamento dos índices de competição em função da idade, foram realizadas análises gráficas das tendências médias de cada um dos índices em relação aos cinco intervalos de medição (60 a 67; 67 a 74; 74 a 81; 81 a 88 e 88 a 95), crescimento em diâmetro e em altura total, conforme Martins et al. (2011) e Castro (2012) e, principalmente, a coerência destes índices com as diferentes intensidades de desbaste aplicada nos tratamentos.

Com o objetivo de verificar se os índices de competição permitem explicar o crescimento em *DAP* e *Ht*, sua significância estatística foi avaliada em modelos de regressão através do teste F-parcial, conforme descrito em Gujarati e Porter (2011), dado pela expressão (extraído de MARTINS et al., 2011):

$$F(x_1 | x_2, x_3, \dots, x_n) = \frac{SQ_{reg}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) - SQ_{reg'}(x_2, x_3, \dots, x_n)}{QM_{res}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)} \quad (2.31)$$

em que: $F(x_1 | x_2, x_3, \dots, x_n)$ = valor do teste F-parcial para a variável X_1 , na presença das demais variáveis; SQ_{reg} = soma de quadrados da regressão do modelo completo; $SQ_{reg'}$ = soma de quadrados da regressão do modelo reduzido; e QM_{res} = quadrado médio do resíduo do modelo completo.

O teste F-parcial foi calculado a nível global e por tratamento para cada índice de competição e consistiu no ajuste de equações dos seguintes modelos teóricos (adaptado de DAVIS et al., 2005; MARTINS et al., 2011):

$$\Delta DAP = f(IC, DAP1, I) \quad (2.32)$$

$$\Delta Ht = f(IC, DAP1, I) \quad (2.33)$$

em que: *DAP* = crescimento em diâmetro, em cm; *I* = idade, em meses; *IC* = índice de competição; *Ht* = crescimento em altura, em m.

Os valores de *F* calculado no Teste F-parcial foram comparados com os tabelados

considerando o nível de 5% de significância.

2.3 – RESULTADOS

As correlações entre os índices de competição e o *DAP*, variaram entre -0,32 e 0,40. Já para o crescimento em altura, elas variaram de -0,07 a 0,06 (Tabela 2.2). O teste de significância indicou que todas as correlações foram significativas para o crescimento diamétrico. O mesmo não ocorreu para o crescimento em altura, em que correlações significativas foram obtidas com os índices baseados no IID₂ e nas variações do BAL.

Tabela 2.2 - Correlações simples entre os índices de competição, idade (*I*), *DAP* (cm), *Ht* (m), crescimento dimensional em diâmetro (*DAP*) e altura total (*Ht*) em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, em Brasília-DF

Índice de competição	<i>I</i>	<i>DAP</i>	<i>Ht</i>	<i>DAP</i>	<i>Ht</i>
IID ₁	-0,01 ^{ns}	0,90*	0,65*	0,17*	0,00 ^{ns}
IID ₂	-0,01 ^{ns}	0,83*	0,75*	0,16*	-0,05*
IID ₃	-0,02 ^{ns}	0,89*	0,65*	0,17*	-0,01 ^{ns}
IID ₄	-0,01 ^{ns}	0,83*	0,56*	0,16*	0,00 ^{ns}
BAL	0,11*	-0,72*	-0,41*	-0,20*	-0,01 ^{ns}
ISD8 ₁	0,00 ^{ns}	0,72*	0,52*	0,14*	0,00 ^{ns}
ISD8 ₂	-0,01 ^{ns}	0,72*	0,65*	0,15*	-0,04*
ISD8 ₃	-0,01 ^{ns}	0,68*	0,50*	0,14*	-0,01 ^{ns}
ISD8 ₄	0,00 ^{ns}	0,55*	0,36*	0,10*	-0,01 ^{ns}
ISD8 _{BAL}	0,15*	-0,48*	-0,25*	-0,23*	-0,03*
ISD24 ₁	-0,01 ^{ns}	0,83*	0,62*	0,15*	0,00 ^{ns}
ISD24 ₂	-0,01 ^{ns}	0,77*	0,72*	0,15*	-0,05*
ISD24 ₃	-0,01 ^{ns}	0,81*	0,61*	0,15*	-0,01 ^{ns}
ISD24 ₄	0,00 ^{ns}	0,77*	0,54*	0,14*	-0,01 ^{ns}
ISD24 _{BAL}	0,19*	-0,57*	-0,30*	-0,28*	-0,05*
NIID ₁	-0,27*	0,46*	0,16*	0,38*	0,04*
NIID ₂	-0,35*	0,11*	-0,11*	0,40*	0,06*
NIID ₃	-0,25*	0,51*	0,22*	0,37*	0,03*
NIID ₄	-0,17*	0,57*	0,26*	0,29*	0,01 ^{ns}
N _{BAL}	0,27*	-0,50*	-0,16*	-0,32*	-0,06*
NISD8 ₁	-0,23*	0,37*	0,11*	0,33*	0,03*
NISD8 ₂	-0,34*	0,09*	-0,12*	0,40*	0,06*
NISD8 ₃	-0,20*	0,38*	0,15*	0,29*	0,02 ^{ns}
NISD8 ₄	-0,10*	0,31*	0,13*	0,16*	0,00 ^{ns}

Continua...

Tabela 2.2, cont...

Índice de competição	<i>I</i>	<i>DAP</i>	<i>Ht</i>	<i>DAP</i>	<i>Ht</i>
NISD8 _{BAL}	0,23*	-0,36*	-0,11*	-0,28*	-0,06*
NISD24 ₁	-0,26*	0,40*	0,13*	0,36*	0,04*
NISD24 ₂	-0,34*	0,09*	-0,12*	0,40*	0,06*
NISD24 ₃	-0,24*	0,44*	0,18*	0,35*	0,02*
NISD24 ₄	-0,17*	0,48*	0,22*	0,27*	0,01 ^{ns}
NISD24 _{BAL}	0,27*	-0,39*	-0,12*	-0,31*	-0,07*

^{ns} = Não significativo à 5% de significância pelo teste T; * = significativo à 5% de significância pelo teste T.

A inclusão da variável AB₂₄ no cálculo dos índices de competição proporcionou aumento considerável nas correlações. Sem a presença desta variável, as correlações com crescimento diamétrico situaram-se em torno de 15%, com destaque para os índices BAL e suas variações para 1^a e 2^a adjacências. Após a inclusão do AB₂₄, os valores aumentaram para aproximadamente 32%, resultando em aumento no número de correlações estatisticamente significativas. Para o crescimento em altura total, as correlações não foram significativas apenas para os índices baseados no IID₄.

Os índices apresentaram sinais coerentes de correlação com a idade, diâmetro, altura e crescimento diamétrico, porém não houve coerência com o crescimento em altura total. As correlações foram positivas para *DAP*, *Ht* e crescimento em diâmetro, e, negativas para a idade. Os índices relacionados ao BAL apresentaram sinais contrários devido as suas características matemáticas que proporcionam resultados inversos aos demais.

Os gráficos de tendência de crescimento para cada tratamento mostram coerência entre *DAP* e as diferentes intensidades de desbaste (Figura 2.2). As posições das curvas dos tratamentos indicam que as maiores intensidades de desbaste proporcionaram os maiores crescimentos diamétricos. Já os gráficos de crescimento em altura total não apresentaram relação com os tratamentos, pois a aplicação do desbaste pouco influenciou o crescimento das árvores. Devido a este fato, o comportamento dos índices de competição foi comparado apenas com os crescimentos relacionados ao *DAP*.

Analisando os gráficos pode-se perceber que os índices independentes da distância tradicionais (IID) e os semi-independentes com 1 ou 2 adjacências (ISD) não foram capazes de captar o efeito do desbaste, pois não há coerência com o comportamento dos crescimentos médios em diâmetro dos tratamentos. As exceções foram o índice BAL tradicional e suas variações ISD8_{BAL} e ISD24_{BAL}, sendo que as curvas mostram a redução da competição proporcionada pelos tratamentos de desbaste.

A inclusão da variável AB₂₄ proporcionou comportamento coerente com os

crescimentos observados nos tratamentos para todos os índices de competição. A ordem das curvas dos tratamentos nestes gráficos evidencia que a competição foi mais acentuada no tratamento testemunha, seguindo das menores intensidades de desbaste, em conformidade com as taxas de crescimento observadas. A tendência decrescente (crescente para os índices relacionados ao BAL) das curvas ao longo do tempo indicam aumento gradativo dos níveis de competição e, por consequência, redução no crescimento diamétrico.

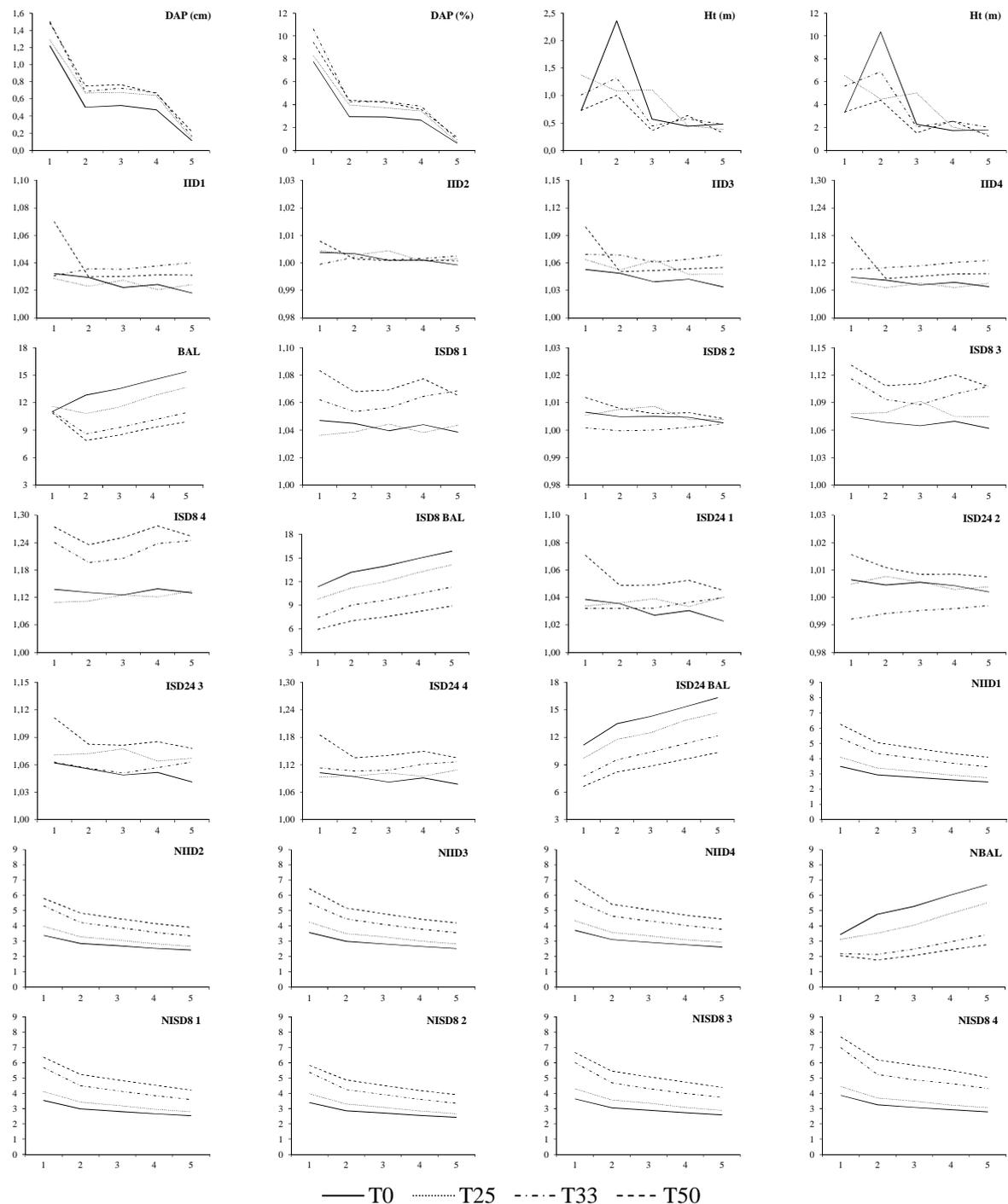


Figura 2.2, continua...

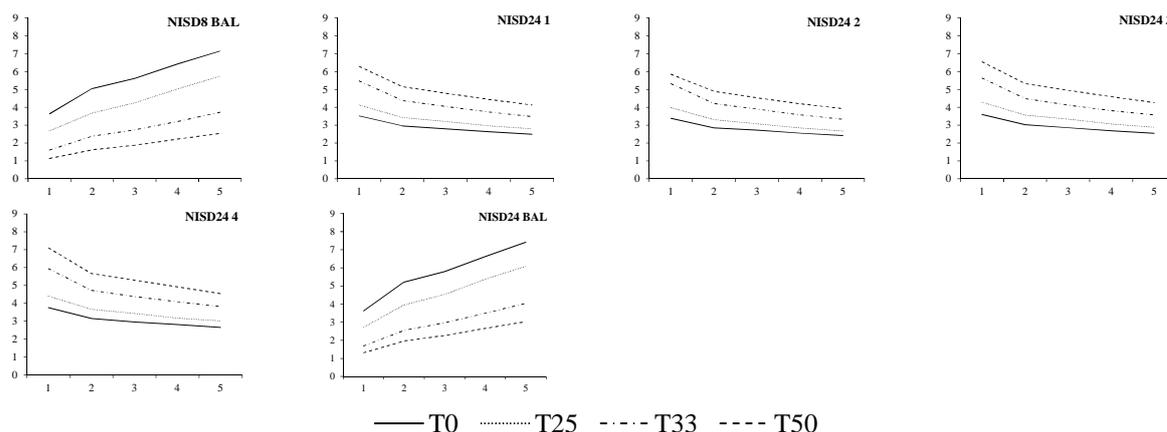


Figura 2.2 – Crescimento em diâmetro *DAP* (cm e %) e em *Ht* (m e %), e o comportamento médio dos índices de competição em função da idade (intervalos de medição: 1 = 60 a 67 meses; 2 = 67 a 74 meses; 3 = 74 a 81 meses; 4 = 81 a 88 meses e 5 = 88 a 95 meses) para cada tratamento.

O teste F-parcial calculado para o nível global indicou que todos os índices de competição foram significativos a 5%, tanto para o crescimento em diâmetro (*DAP*), quanto para o crescimento em altura total (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Teste F-parcial, global e por tratamento, para os índices de competição em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, em Brasília-DF

IC	<i>DAP</i>					<i>Ht</i>				
	Global	<i>T0</i>	<i>T25</i>	<i>T33</i>	<i>T50</i>	Global	<i>T0</i>	<i>T25</i>	<i>T33</i>	<i>T50</i>
IID ₁	153,48*	102,59*	27,27*	29,01*	43,69*	157,71*	345,31*	0,46 ^{ns}	38,87*	49,28*
IID ₂	56,64*	46,94*	25,44*	0,62 ^{ns}	17,23*	294,52*	144,99*	30,25*	226,30*	21,87*
IID ₃	135,6*	72,15*	20,38*	17,54*	37,56*	224,26*	331,59*	8,46*	50,07*	64,77*
IID ₄	48,54*	12,39*	3,12 ^{ns}	10,57*	13,65*	47,63*	74,24*	1,23 ^{ns}	0,55 ^{ns}	20,28*
BAL	21,94*	8,54*	1,31 ^{ns}	31,71*	11,10*	115,78*	90,09*	3,71 ^{ns}	0,61 ^{ns}	9,12*
ISD8 ₁	27,80*	17,72*	0,93 ^{ns}	5,94*	2,17 ^{ns}	12,28*	18,40*	0,01 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,79 ^{ns}
ISD8 ₂	35,93*	26,01*	6,98*	7,39*	1,66 ^{ns}	92,71*	44,04*	4,10*	52,40*	4,54*
ISD8 ₃	25,93*	17,80*	1,06 ^{ns}	3,98*	1,95 ^{ns}	22,37*	23,62*	0,29 ^{ns}	3,04 ^{ns}	1,36 ^{ns}
ISD8 ₄	9,48*	11,06*	0,03 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,88 ^{ns}	10,39*	16,11*	0,27 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,39 ^{ns}
ISD8 _{BAL}	91,76*	3,63 ^{ns}	4,23*	21,83*	2,71 ^{ns}	36,54*	15,98*	0,15 ^{ns}	7,24*	0,01 ^{ns}
ISD24 ₁	37,27*	19,75*	1,26 ^{ns}	12,02*	1,56 ^{ns}	39,30*	47,05*	0,40 ^{ns}	4,22*	5,77*
ISD24 ₂	33,10*	24,89*	9,53*	8,06*	0,44 ^{ns}	179,41*	78,31*	14,99*	84,81*	10,51*
ISD24 ₃	37,35*	19,78*	1,83 ^{ns}	9,95*	1,19 ^{ns}	67,12*	61,52*	2,71 ^{ns}	9,09*	8,13*
ISD24 ₄	20,43*	10,99*	0,03 ^{ns}	3,67 ^{ns}	1,80 ^{ns}	31,97*	40,94*	1,28 ^{ns}	0,81 ^{ns}	5,55*
ISD24 _{BAL}	129,88*	2,81 ^{ns}	6,95*	45,91*	2,60 ^{ns}	54,39*	41,12*	0,20 ^{ns}	22,34*	2,73 ^{ns}
NIID ₁	474,32*	32,09*	53,81*	102,23*	57,23*	148,43*	103,17*	7,92*	0,02 ^{ns}	1,47 ^{ns}

Continua...

Tabela 2.3, cont...

IC	DAP					Ht				
	Global	T0	T25	T33	T50	Global	T0	T25	T33	T50
NIID ₂	472,90*	22,74*	69,04*	89,06*	47,21*	110,32*	72,28*	7,91*	4,72*	0,17 ^{ns}
NIID ₃	451,88*	33,29*	48,57*	88,50*	57,41*	178,39*	120,19*	3,47 ^{ns}	1,75 ^{ns}	3,45 ^{ns}
NIID ₄	251,11*	19,12*	27,29*	35,08*	40,59*	115,89*	89,25*	1,73 ^{ns}	1,14 ^{ns}	5,13*
N _{BAL}	145,49*	5,51*	7,79*	20,51*	0,95 ^{ns}	91,11*	60,26*	0,74 ^{ns}	55,59*	1,11 ^{ns}
NISD8 ₁	289,77*	33,38*	41,01*	40,61*	28,31*	86,48*	66,44*	7,45*	0,00 ^{ns}	0,26 ^{ns}
NISD8 ₂	457,29*	25,50*	68,78*	83,60*	43,59*	99,64*	70,92*	9,48*	4,95*	0,11 ^{ns}
NISD8 ₃	212,45*	33,98*	29,89*	22,91*	22,77*	85,59*	69,01*	3,38 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,71 ^{ns}
NISD8 ₄	40,62*	22,21*	12,76*	0,89 ^{ns}	11,90*	32,38*	46,72*	1,09 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,43 ^{ns}
NISD8 _{BAL}	119,44*	2,63 ^{ns}	8,57*	37,12*	2,52 ^{ns}	40,37*	14,85*	1,38 ^{ns}	22,95*	0,10 ^{ns}
NISD24 ₁	389,95*	27,61*	44,51*	74,53*	36,85*	118,31*	80,44*	7,00*	0,19 ^{ns}	0,94 ^{ns}
NISD24 ₂	453,43*	21,95*	65,24*	87,04*	41,43*	104,39*	70,81*	8,00*	5,56*	0,07 ^{ns}
NISD24 ₃	346,17*	28,66*	37,33*	59,59*	32,37*	135,74*	90,67*	3,24 ^{ns}	0,62 ^{ns}	2,21 ^{ns}
NISD24 ₄	178,85*	20,23*	20,23*	16,99*	24,29*	93,58*	74,02*	1,47 ^{ns}	1,44 ^{ns}	2,67 ^{ns}
NISD24 _{BAL}	131,53*	1,52 ^{ns}	9,09*	54,08*	2,02 ^{ns}	51,76*	25,51*	1,25 ^{ns}	36,60*	0,29 ^{ns}

F tab (1;) = 3,84. ^{ns} = Não significativo à 5% de significância; * = significativo à 5% de significância.

Para os tratamentos, percebe-se que a maior ocorrência de índices significativos foi no T0, tanto para o crescimento diamétrico (DAP), quanto para o crescimento em altura total (Ht).

Avaliando os resultados para o Ht, os índices tradicionais foram os que apresentaram as maiores contribuições, principalmente o IID₂ e IID₃, possivelmente por levar em consideração a variável altura total em seu cálculo.

Os resultados do teste F-parcial mostram que a inclusão da variável AB₂₄ foi muito positiva, proporcionando as maiores contribuições para explicar o crescimento diamétrico, em termos global e por tratamento. A maior contribuição observada para o DAP foi devida ao índice NIID₁ (F calculado = 474,32).

O teste F-parcial confirma os resultados dos gráficos de tendência no que se refere à superioridade dos índices após a inclusão de AB₂₄ para expressar o crescimento diamétrico nas diferentes intensidades de desbaste.

2.4 – DISCUSSÃO

Após a execução dos desbastes, as árvores remanescentes retomam o crescimento (HAWLEY e SMITH, 1972) em consequência da redução da competição proporcionada pelo novo espaçamento entre plantas (MONTE et al., 2009; HAWTHORNE et al., 2013). Essa

resposta se dá principalmente em crescimento diamétrico (GLENCROSS et al., 2014), uma vez que o desbaste não influencia significativamente o crescimento em altura (ASSMANN, 1961; HUSCH et al., 2003). Esse fato, possivelmente, explica a ausência de coerência entre os gráficos de crescimento em altura total e as tendências apresentadas pelos índices de competição. As maiores correlações observadas foram àquelas relacionadas ao crescimento diamétrico.

Os valores das correlações encontradas neste estudo foram inferiores a 40% (Tabela 2.2). Castro et al. (2014) explicam que em florestas equiâneas, árvores de mesmo tamanho possuem taxas de crescimento semelhantes, resultando em maiores correlações entre os índices de competição e as taxas de crescimento. Porém, convém salientar que após a realização de desbastes, as taxas de crescimento ficam condicionadas aos níveis de redução da competição. Assim árvores de mesma dimensão podem apresentar taxas de crescimento diferentes se estiverem localizadas em tratamentos diferentes, influenciando os resultados das correlações.

Martins et al. (2011) estudando índices de competição independentes da distância em plantios não desbastados de eucalipto encontraram correlações variando de -0,74 a 0,52 para o crescimento diamétrico e -0,59 a 0,58 para o crescimento em altura. Daniels et al. (1986) avaliando índices dependentes e independentes da distância e o crescimento diamétrico para *Pinus taeda* encontraram correlações entre 0,23 e 0,31.

As correlações foram positivas para *DAP*, *Ht* e crescimento em diâmetro (Tabela 2.2). Chassot et al. (2011) explicam que os índices de Glover e Hool (1979) indicam que, quanto maiores são os seus valores menor é a competição a que a árvore está submetida e, assim, apresenta maior crescimento. Esses mesmos índices, apresentaram correlações negativas com a idade, indicando aumento da competição ao longo do tempo.

Já os sinais das correlações obtidos com os índices baseados no BAL (STAGE, 1973) foram inversos aos de Glover e Hool (1979). Chassot et al. (2011) relatam que o BAL expressa a competição através das árvores competidoras maiores que a árvore-objeto, assim, quanto menores os valores desses índices, menor a competição sob a qual a árvore-objeto está submetida. Por isso a maioria das correlações encontradas foi negativa, atendendo ao realismo biológico inerente a este índice.

Os índices independentes da distância tradicionais (IID) e os semi-independentes com 1 ou 2 adjacências (ISD), exceto os relacionados ao BAL, não foram capazes de captar o efeito do desbaste (Figura 2.2). Estes índices são estimados através da razão entre uma

variável dendrométrica ou uma combinação de variáveis dendrométricas da árvore-objeto em relação à média das mesmas variáveis das árvores competidoras (CASTRO et al., 2014). Após a realização do desbaste, a menos que sejam colhidas apenas as maiores ou as menores árvores, poucas mudanças ocorrem nas médias das variáveis dendrométricas da unidade amostral, não alterando o valor do índice mesmo havendo redução na competição para as árvores remanescentes.

Nos índices baseados no BAL, as estimativas consistem no somatório das áreas seccionais das árvores maiores que a árvore-objeto, assim a remoção de qualquer indivíduo da unidade amostral impacta na redução do índice das árvores menores que a removida, indicando a redução na competição.

Assim, os resultados obtidos neste estudo mostram que o índice BAL tradicional e suas variações $ISD8_{BAL}$ e $ISD24_{BAL}$ foram sensíveis ao efeito do desbaste sendo que as curvas mostram a redução da competição proporcionada pelos tratamentos de desbaste. Monserud e Sterba (1996) enfatizam que o BAL é uma variável que apresenta bom comportamento sob todos os tipos de desbastes. Para Eid e Tuhus (2001), o BAL é um excelente índice, principalmente por não necessitar de informações espaciais das árvores, porém, utilizando a 1ª e 2ª adjacências também foi possível captar o efeito do desbaste no crescimento das árvores.

Tanto os gráficos de tendência de crescimento e comportamento dos índices de competição (Figura 2.2), quanto os resultados obtidos no teste F-parcial (Tabela 2.3) mostram, indubitavelmente, que a inclusão de AB_{24} proporcionou as maiores contribuições para explicar o crescimento diamétrico, em termos global e por tratamento. A área basal é um importante parâmetro da densidade do povoamento, fornecendo o grau de ocupação de determinada área por árvores (CAMPOS e LEITE et al., 2017). Esta variável, por si só, já demonstra o status competitivo de cada árvore, sem a necessidade de incorporar outras variáveis (MARTINS, 2011).

Desta maneira, incluir AB_{24} no cálculo de índices baseados na razão entre variáveis dendrométricas os tornam mais eficazes e sensíveis às alterações na ocupação do local, permitindo assim captar o efeito dos desbastes.

É conveniente salientar que embora a coleta de dados para obtenção da variável AB_{24} seja mais custosa, os resultados obtidos por seus índices justificam esse dispêndio de recursos. Os índices derivados do BAL testados neste estudo também foram eficientes para captar o efeito das diferentes intensidades de desbaste, tendo como principal vantagem em relação à

AB₂₄ a facilidade de coleta dos dados. Porém, é pertinente relatar que avanços em sensoriamento remoto e sistemas de informação geográficas podem facilitar esta aquisição de dados permitindo o mapeamento da distribuição espacial das árvores em povoamentos (CONTRERAS, et al., 2011), cabendo ao manejador florestal optar pelo índice que lhe seja mais conveniente.

Pelos resultados obtidos com o Teste F-parcial, os índices que levam a variável AB₂₄ em sua formulação proporcionaram maior contribuição que os derivados apenas do BAL, porém recomenda-se a realização de testes desses índices modelagem da mortalidade e na simulação do crescimento em nível de árvores individuais.

2.5 – CONCLUSÕES

Entre os índices independentes da distância tradicionais, apenas o BAL é indicado para representar a competição em povoamentos desbastados.

Os índices semi-independentes da distância (1ª e 2ª adjacências) não são eficientes para captar o efeito das diferentes intensidades de desbaste no crescimento das árvores.

A inclusão da variável AB₂₄ resulta em índices eficientes para descrever a competição entre árvores em povoamentos desbastados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAME, P.; DEL RÍO, M.; CANELLAS, I. Modeling individual-tree mortality in Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) stands. **Annals of Forest Science**, v. 67, p.810. 2010.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ASSMANN, E. **Waldertragskunde**. Muenchen: BLV Verlagsgessellschaft, 1961. 435 p.
- BELAND, M.; LUSSIER, J.M.; BERGERON, Y.; LONGPRE, M.H.; BELAND, M. Structure, spatial distribution and competition in mixed jack pine (*Pinus banksiana*) stands on clay soils of eastern Canada. **Annals of Forest Science**, v.60, p.609-617, 2003.
- BÉRUBÉ-DESCHÊNES, A.; FRANCESCHINI, T.; SCHNEIDER, R. Quantifying competition in white spruce (*Picea glauca*) plantations. **Annals of Forest Science**, v. 26, p.74, 2017.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 5ª ed. Viçosa: UFV, 2017. 636 p.
- CANHAM, C. D.; LEPAGE, P.T.; COATES, K.D. A neighborhood analysis of canopy tree competition: effects of shading versus crowding. **Canadian Journal Forest Research**, v.34, p.778-787, 2004.
- CANHAM, C. D.; PAPAİK, M. J.; URIARTE, M.; MCWILLIAMS, W. H.; JENKINS, J. C.; TWERY, M. J. Neighborhood analyses of canopy tree competition along environmental gradients in New England Forests. **Ecological Applications**, v.16, p.540–554, 2006.
- CAO, Q.V. A method to distribute mortality in diameter distribution models. **Forest Science**, Bethesda, v. 43, n. 3, p. 435-442, 1997.
- CASTRO, R. V. O. **Modelagem de árvore individual para uma Floresta Estacional Semidecidual utilizando redes neurais**. 2012. 116p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- CASTRO, R. V. O. SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; MARTINS, F. B.; NOGUEIRA, G. S.; OLIVEIRA, M. L. R. Artificial neural networks effectiveness to estimate mortality in a Semi-Deciduous Seasonal Forest. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**. v.9, n.5. p.435-444. 2015.
- CASTRO, R.; SOARES, C.; LEITE, H.; SOUZA, A.; MARTINS, F.; NOGUEIRA, G.; OLIVEIRA, M.; SILVA, F. Competição em nível de árvore individual em uma Floresta Estacional Semidecidual. **Silva Lusitana**, v.22 , n.1, p.43-66, 2014.
- CHASSOT, T.; FLEIG, F.D.; FINGER, C.A.G.; LONGHI, S.J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Ombrófla Mista. **Ciência Florestal**, v.21, p.303-313, 2011.

COATES, K. D.; CANHAM, C. D.; LEPAGE, P. T. Above-versus below-ground competitive effects and responses of a guild of temperate tree species. **Journal of Ecology**, v.97, p. 118-130, 2009.

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.1939-1949, 2011.

CURTIS, R. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. **Forest Science**, Lawrence, v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.

DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v.16, p.1230-1237, 1986.

DAS, A.; BATTLES, J.; STEPHENSON, N. L.; VAN MANTGEM, P. J. The contribution of competition to tree mortality in old-growth coniferous forests. **Forest Ecology and Management**, v.261 p.1203–1213, 2011.

DAVIS, L.S.; JONHSON, K.N.; BETTINGER, P.; HOWARD, T.E. **Forest management: to sustain ecological, economic, and social values**. 4th ed. Illinois: Waveland, 2005. 804p.

DUCHESNE, L.; PRÉVOST, M. Canopy disturbance and intertree competition: implications for tree growth and recruitment in two yellow birch-conifer stands in Quebec, Canada, **Journal of Forest Research**, v. 18, p.168-178, 2013.

EID, T.; TUHUS, E. Models for individual tree mortality in Norway. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.154, p.69-84, 2001.

FRAVER, S.; AMATO, A. W. D'.; BRADFORD, J. B.; JONSSON, B. G.; JONSSON, M.; ESSEEN, PER-A. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: influence of tree spatial patterning. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, 374–385, 2014.

GLENCROSS, K.; PALMER, G.; PELLETIER, M. C.; NICHOLS, J. D.; SMITH, R. G. B. Basal area increment is unaffected by thinning intensity in young *Eucalyptus dunnii* and *Corymbia variegata* plantations across different quality sites. **Forest Ecology and Management**. n.318, p.326–333. 2014.

GLOVER, G.R.; HOOL, J.N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science**, v.25, n.2, p.275-282, 1979.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5° ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924p.

HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: M. N. PINTO (Ed.); **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília - DF: Editora Universidade de Brasília, p. 309–330, 1990.

HARTMANN, H.; MESSIER, C. Interannual variation in competitive interactions from natural and anthropogenic disturbances in a temperate forest tree species: Implications for ecological interpretation. **Forest Ecology and Management**, v.261, p.1936-1944, 2011.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **Silvicultura prática**. Barcelona: Omega. 544 p. 1972.

HAWTHORNE, S. N. D.; LANE, P. N. J.; BREN, L. J.; SIMS, N. C. The long term effects of thinning treatments on vegetation structure and water yield. **Forest Ecology and Management**. n.310, p.983-993. 2013.

HEGYI, F. **A simulation model for managing jack-pine stands**. In: Fries, J. (Ed.), Growth Models for Tree and Stand Simulation. Royal College of Forestry. Stockholm, p.74-90, 1974

HUSCH, B., BEERS, T.W., KERSHAW JR., J.A., **Forest mensuration**. 4^a Ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 443 p.

KUNSTLER, G.; FALSTER, D.; COOMES, D. A.; HUI, F.; KOOYMAN, R. M.; LAUGHLIN, D. C.; POORTER, L.; VANDERWEL, M.; VIEILLEDENT, G.; WRIGHT, S. J.; AIBA, M.; BARALOTO, C.; CASPERSEN, J.; CORNELISSEN, J. H. C.; GOURLET-FLEURY, S., et al. Plant functional traits have globally consistent effects on competition. **Nature**, v.529, p. 204-207, 2016.

LEDERMAN, T. Evaluating the performance of semi-distance-independent competition indices in predicting the basal area growth of individual trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v.40, p.796-805, 2010.

MARTINS, F. B. **Modelagem em nível de árvore individual para plantios comerciais de eucaliptos**. 2011. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

MARTINS, F.B.; SOARES, C.P.B.; LEITE, H.G.; SOUZA, A.L.; CASTRO, R.V.O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1089-1098, 2011.

METZ, J.; SEIDEL, D.; SCHALL, P.; SCHEFFER, D.; SCHULZE, ERNST-D.; AMMER, C. CROWN modeling by terrestrial laser scanning as an approach to assess the effect of aboveground intra- and interspecific competition on tree growth. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 275-288, 2013.

MONSERUD, R. A. STERBA, H. A basal area increment model for individual trees growing in even-and uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and Management**.v.80, p.57- 80. 1996.

MONTE, M. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; LEITE, H. G.; CACAU, F. V.; ALVES, F. F. Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 5, p. 777-787, 2009.

MUGASHA, W. A.; MWAKALUKWA, E.E.; LUOGA, E.; MALIMBWI, R.E.; ZAHABU, E.; SILAYO, D.S.; SOLA, G.; CRETE, P.; HENRY, M.; KASHINDYE, A. Allometric

models for estimating tree volume and aboveground biomass in lowland forests of Tanzania. **International Journal Forestry Research**, v. 2016, p. 1-14. 2016.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 1989. 422p.

OHEIMB, G. V.; LANG, A. C.; BRUELHEIDE, H.; FORRESTER, D. I.; WÄSCHE, I.; YU, M.; HÄRDTLE, W. Individual-tree radial growth in a subtropical broad-leaved forest: The role of local neighbourhood competition. **Forest ecology and management**, v. 261, p. 499-507, 2011.

ORELLANA, E.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PÉLLICO NETTO, S.; VANCLAY, J. K. Predicting the dynamics of a native Araucaria forest using a distance-independent individual tree-growth model. **Forest Ecosystems**, v.3, p. 01-11, 2016.

PEDERSEN, R. Ø.; BOLLANDSÅS, O. M.; GOBAKKEN, T.; NÆSSET, E. Deriving individual tree competition indices from airborne laser scanning. **Forest Ecology and Management**, v. 280, p. 150-168.2012.

PEDERSEN, R. Ø.; NÆSSET, E.; GOBAKKEN, T.; BOLLANDSÅS, O. M. On the evaluation of competition indices – The problem of overlapping samples. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 120–133, 2013.

PELTONIEMI, M.; MÄKIPÄÄ, R. Quantifying distance-independent tree competition for predicting Norway spruce mortality in unmanaged forests. **Forest Ecology and Management**, v.261, p.30 - 42, 2011.

POMMERENING, A. MALEKI, K. Differences between competition kernels and traditional size-ratio based competition indices used in forest ecology. **Forest Ecology and Management**, v.331, p. 135-143, 2014.

PRETZSCH, H.; BIBER, P. Size-symmetric versus size-asymmetric competition and growth partitioning among trees in forest stands along an ecological gradient in central Europe. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 40, (2), p. 370-384, 2010.

RÍO, M.d., SCHÜTZE, G., PRETZSCH, H. Temporal variation of competition and facilitation in mixed species forests in Central Europe. **Plant Biology**, v. 2014, p.166-176, 2013.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; RÍO, M. del; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G. Distance independent tree diameter growth model for cork oak stands. **Forest Ecology and Management**, v.225, p.262-270, 2006.

STAGE, A.R., LEDERMANN, T. Effects of competitor spacing in a new class of individual-tree indices of competition: semi-distance-independent indices computed for Bitterlich versus fixed-area plots. **Canadian Journal of Forest Research**, v.38, n.4, p.890-898, 2008.

STAGE, A. R. **Prognosis model for stand development**. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-137. Washington, DC, 1973. 32 p.

TAUTENHAHN, S.; HEILMEIER, H.; JUNG, M.; KAHL, A.; KATTGE, J.; MOFFAT, A.; WIRTH, C. Beyond distance-invariant survival in inverse recruitment modeling: A case study in Siberian *Pinus sylvestris* forests. **Ecological Modelling**, v. 233, p. 90-103, 2012.

WEISKITTEL, A.R., HANN, D.W., KERSHAW, J.W. e VANCLAY, J.K. **Forest Growth and Yield Modeling**. Wiley, NY, 2011.

ZHANG, S.; AMATEIS, R. L.; BURKHART, H. E. Constraining individual tree diameter increment and survival models for loblolly pine plantations. **Forest Science**, Bethesda, v. 43, n. 3, p. 414-423, 1997.

CAPÍTULO III

PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO E SIMULAÇÃO DE DESBASTES EM EUCALIPTO EM NÍVEL DE ÁRVORES INDIVIDUAIS

RESUMO – A maioria dos estudos de modelagem e simulação do crescimento florestal de povoamentos de eucalipto desbastados foram conduzidos em nível de povoamento total ou de distribuição diamétrica, sendo que nenhum estudo simulou o efeito de diferentes intensidades de desbaste em nível de árvore individual para árvores de eucalipto. Assim, este estudo objetivou ajustar modelos de crescimento em diâmetro e altura para árvores individuais de eucalipto e avaliar suas estimativas através de simulações de diferentes intensidades de desbaste. Os tratamentos de desbaste estudados foram: *T0*: testemunha (sem desbaste); *T25*: redução de 25% no número de indivíduos; *T33*: redução de 33%; e *T50*: redução de 50%. O povoamento foi mensurado aos 60 (antes da intervenção), 67, 74, 81, 88 e 95 meses. Foram estimados quatro índices de competição, sendo três semi-independentes da distância (NIID1, NIID2 e NBAL) e um independente da distância (BAL). Quatro modelos de crescimento para diâmetro e altura foram ajustados e suas estimativas foram submetidas às seguintes estatísticas: coeficiente de correlação de Pearson, raiz quadrada do erro médio, Biais absoluto e percentual, média das diferenças absolutas e análise gráfica de resíduos. Simulações de desbaste e projeções do crescimento foram realizadas considerando três cenários. No cenário A, os dados dos tratamentos *T25*, *T33*, *T50* aos 60 meses pré-desbaste, foram submetidos simulações de colheita aleatória do mesmo número de indivíduos realizada nesses tratamentos. No cenário B, nos dados do tratamento testemunha (*T0*) aos 60 meses simulou-se a implantação dos tratamentos *T25*, *T33* e *T50*, através da colheita aleatória do mesmo percentual de número de indivíduos realizada nestes respectivos tratamentos. No cenário C, fez-se a projeção do crescimento em diâmetro e em altura das árvores remanescentes com cada uma das equações e índices de competição utilizando os dados de todos os tratamentos aos 60 meses pós-desbaste. Nas simulações foram avaliadas as variáveis de povoamento área basal, diâmetro médio e a média da altura total. Os resultados permitiram concluir que o modelo 3 foi o que melhor estimou o crescimento em diâmetro e altura total de árvores tanto no ajuste, quanto na fase de simulações de desbaste. Todos os índices foram eficientes em captar o efeito dos desbastes, porém os melhores resultados foram obtidos com o BAL e o NBAL por permitirem a obtenção de estimativas mais precisas e estatisticamente consistentes.

Palavras-chave: modelos de crescimento florestal; índices de competição; simulação florestal.

3.1 – INTRODUÇÃO

O processo de crescimento e desenvolvimento florestal é considerado complexo, sendo afetado por diversos fatores, a saber: idade, tamanho, site, material genético (BURKHART e TOMÉ, 2012), clima e competição (LEDERMANN, 2010). Dessa forma, os gestores florestais buscam entender as interações dessas variáveis para melhorar o crescimento das árvores e a qualidade da madeira (MACDONALD et al., 2010).

Dentre os métodos de controle utilizados, os desbastes são práticas silviculturais consideradas importantes e eficientes para gerenciar o crescimento e rendimento das florestas (FORRESTER et al., 2010; FORRESTER et al., 2012). A produtividade dos povoamentos tratados pelo uso deste método é melhorada, proporcionando, posteriormente, a produção de árvores maiores para sortimento de produtos de maior valor agregado (NISHIZONO, 2010; HAWTHORNE et al., 2013).

Os estudos de desbaste podem fornecer diferentes contribuições técnico-científicas, no entanto, as hipóteses elaboradas para o crescimento e produção de florestas plantadas submetidas a desbastes e as principais técnicas desenvolvidas foram, muitas vezes, fundamentadas em dados de povoamentos não desbastados, especialmente de pinus e, em alguns casos, de eucalipto (NOGUEIRA, 2003; RETSLAFF et al., 2012). Diante disso, as decisões relacionadas ao regime de manejo de florestas desbastadas necessitam de informações de crescimento e produção que incorporem respostas do desbaste (PIENAAR, 1979).

No Brasil, alguns experimentos de desbaste foram implantados em povoamentos de eucalipto e diferentes estudos de modelagem e simulação do crescimento têm sido desenvolvidos, entre eles vale destacar os trabalhos de Dias et al. (2005), avaliando a aplicabilidade do modelo de Clutter em povoamentos desbastados de eucalipto, Nogueira et al. (2001) e Nogueira et al. (2005) sobre o desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetido a desbaste, Santana (2008), simulando o crescimento e a produção em plantações de *Eucalyptus grandis* com diferentes procedimentos de obtenção dos parâmetros da distribuição Weibull, e Retslaff et al. (2012), que modelaram a distribuição diamétrica de povoamentos desbastados de *Eucalyptus grandis*.

A avaliação de diferentes alternativas de manejo ou de tratamentos silviculturais também pode ser realizada por meio dos modelos de crescimento e produção em nível de árvores individuais (MAI) (WEISKITTEL et al., 2011). Nesta categoria, a árvore é

considerada a unidade básica para a modelagem (MARTINS et al., 2014; SILVA et al., 2015), sendo os crescimentos em diâmetro e altura dos indivíduos dois dos componentes modelados (ANDREASSEN e TOMTER, 2003), estando sujeitos a complexas interações, além de sofrer influência por uma série de fatores, tais como vigor de crescimento, *site*, características genéticas e *status* competitivo (FOX et al., 2007).

Martins et al. (2014), em seu estudo pioneiro, modelaram o crescimento de árvores individuais de eucalipto não desbastado por classe de produtividade. Apesar dos inúmeros trabalhos sobre a modelagem de povoamentos de eucalipto desbastado, até o momento nenhum estudo simulou diferentes intensidades de desbaste em nível de árvores individuais para plantios de eucalipto.

Nesse sentido, o efeito deste tratamento silvicultural deve ser estimado no nível da árvore individual, o que é ainda mais importante em relação às árvores que serão colhidas em maiores rotações, contribuindo para a otimização do investimento e dos retornos financeiros (FORRESTER et al., 2012).

Assim, o objetivo deste estudo foi ajustar diferentes modelos de crescimento em diâmetro e altura para árvores individuais de eucalipto e avaliar suas estimativas através de simulações de diferentes intensidades de desbaste.

3.2 – MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 – Local de estudo e coleta dos dados

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL/UnB) em Brasília-DF, onde a altitude média é de cerca de 1.100 m e, conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (ALVARES et al., 2013), sendo caracterizado por duas estações bem definidas, uma quente e chuvosa que ocorre no período de outubro a abril, e outra fria e seca, que acontece de maio a setembro. A temperatura média anual é de 22,1° C com precipitação média anual de 1469 mm (NIMER, 1989). O solo predominante na região é o Latossolo Vermelho Amarelo, distrófico, com alto teor de alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio (HARIDASAN, 1990).

Os dados utilizados são oriundos de um povoamento florestal de aproximadamente 2,1 hectares implantado com um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em espaçamento inicial de 3,0 m x 2,0 m.

Aos 60 meses foi realizado o desbaste sistemático por árvores alternadamente dentro

da mesma fileira. Para isso, a área de estudo foi dividida em quatro partes de mesmo tamanho e os tratamentos aplicados corresponderam a diferentes porcentagens de redução no número de indivíduos, sendo: *T0*: testemunha (não houve desbaste); *T25*: redução de 25% no número de indivíduos; *T33*: redução de 33% no número de indivíduos; e *T50*: redução de 50% no número de indivíduos.

A primeira coleta de dados ocorreu aos 60 meses (antes da intervenção) e as demais aos 67, 74, 81, 88 e 95 meses. As variáveis mensuradas foram: o diâmetro a 1,30 m de altura (*DAP*) de todos os indivíduos com uma suta e a altura total (*Ht*) de 50 árvores para cada tratamento com auxílio de clinômetro digital. As alturas foram mensuradas apenas a partir dos 67 meses, sendo que as mesmas árvores foram remeidas em cada idade.

Para estimar a altura total das demais árvores utilizou-se o modelo hipsométrico proposto por Curtis (1967), ajustado por tratamento e idade conforme descrito no capítulo 1. As equações obtidas aos 67 meses foram utilizadas, em seus respectivos tratamentos, para estimar a altura total das árvores aos 60 meses.

3.2.2 – Índices de competição (IC)

Os índices de competição utilizados neste estudo foram selecionados por captarem o efeito dos desbastes e por apresentarem comportamento coerente com os crescimentos em diâmetro e em altura total, conforme análises realizadas no capítulo 2. Nesta seleção, optou-se por índices diversos com relação às variáveis que compõem o seu cálculo. Desta forma, os índices de competição selecionados para este estudo, bem como suas relações matemáticas são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Relação funcional dos índices de competição utilizados para estimar modelos de crescimento em diâmetro e altura em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, localizado em Brasília-DF

Índice	Informações	Equação
$NIID_1 = \frac{DAP_i^2}{DAP^2} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice independente da distância adaptado com a variável AB_{24}	(3.1)
$NIID_2 = \frac{Ht_i}{Ht} \times \frac{1}{AB_{24}}$	Índice independente da distância adaptado com a variável AB_{24}	(3.2)
$NBAL = BAL_i \times AB_{24}$	Índice BAL adaptado com a variável AB_{24}	(3.3)
BAL_i	Proposto por Stage (1973), calculado ao nível de tratamento.	(3.4)

em que: DAP_i = diâmetro com casca do fuste da árvore-objeto, medido a 1,30 m (cm); \overline{DAP} = média aritmética dos diâmetros dos fustes da unidade amostral (cm); Ht_i = altura total do fuste da árvore-objeto (m); \overline{Ht} = altura

média dos fustes da unidade amostral (m); BAL_i = somatório das áreas seccionais dos fustes das árvores vizinhas maiores que o fuste da árvore-objeto ($m^2 \cdot ha^{-1}$); AB_{24} = somatório das áreas seccionais das 24 árvores mais próximas à árvore-objeto (m^2).

3.2.3 – Modelos de crescimento em diâmetro e em altura

Foram avaliados quatro modelos para estimar o crescimento em diâmetro e altura em nível de árvore individual ajustados para cada índice de competição. Os modelos de crescimento utilizados neste estudo estão em estrutura de projeção e foram selecionados com base na literatura (MARTINS et al., 2014; LUSTOSA JUNIOR, 2016). As relações matemáticas dos modelos escolhidos são apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Modelos utilizados para estimar o crescimento do diâmetro e da altura em povoamento de eucalipto submetido a desbaste, localizado em Brasília-DF

Nº	Forma de ajuste	Autor	Eq.
1	$Y_2 = (S_0 + S_1 \cdot IC) \cdot \left(\frac{Y_1}{S_0 + S_1 \cdot IC} \right)^{\left(\frac{I_1}{I_2} \right)^{S_2}} + v$	Adaptado de Lundqvist-Korf / Amaro et al. (1998)	(3.5)
2	$\ln Y_2 = \ln Y_1 + S_1 \cdot \left(\frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1} \right) + S_2 \cdot IC + v$	Schumacher adaptado de Campos e Leite (2017)	(3.6)
3	$Y_2 = Y_1 + \left(S_0 + S_1 \cdot \left(\frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1} \right) + S_2 \cdot IC \right) + v$	Linear / adaptado de Bella (1971) e Campos e Leite (2017)	(3.7)
4	$Y_2 = S_0 + S_1 \cdot DAP_1 + S_2 \cdot Ht_1 + S_3 \cdot IC + v$	Lustosa Junior (2016)	(3.8)

em que: Y_2 = diâmetro (cm) ou altura total (m) em idade futura; Y_1 = diâmetro (cm) ou altura total (m) em idade corrente; I_2 = Idade futura (meses); I_1 = idade corrente (meses); IC = índice de competição; DAP_1 = diâmetro medido a 1,30 m em idade corrente (cm); Ht_1 = altura total em idade corrente (m); $0, 1, 2, 3$ = parâmetros dos modelo; e v = erro aleatório.

Os ajustes foram realizados utilizando o *software* Statistica 8.0 (STATSOFT, 2007), utilizando os algoritmos Levenberg-Marquardt e Gauss Newton pelo método dos mínimos quadrados, conforme Martins et al. (2014).

O banco de dados foi dividido aleatoriamente, sendo que 60% dos indivíduos foram utilizados para a fase de ajuste dos modelos e 40% para a validação das equações. Essa divisão foi realizada por tratamento. A descrição das variáveis diâmetro e altura total em cada grupo é apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Características de *DAP* e altura total nas fases de ajuste e validação de modelos de crescimento eucalipto submetido a desbaste, localizado em Brasília-DF

Grupo	Tratamento	Variáveis							
		n	N° de ind.	<i>DAP</i> _{mín}	<i>DAP</i> _{médio}	<i>DAP</i> _{máx}	<i>Ht</i> _{mín}	<i>Ht</i> _{médio}	<i>Ht</i> _{máx}
Ajuste	<i>T0</i>	1520	319	5,60	17,15	25,60	10,13	24,38	29,29
	<i>T25</i>	1309	269	5,90	17,39	26,30	5,87	23,97	30,45
	<i>T33</i>	1070	221	6,20	16,80	31,60	9,63	21,37	26,97
	<i>T50</i>	884	184	6,40	17,81	26,60	12,58	23,43	27,67
Subtotal		4783	993						
Validação	<i>T0</i>	1042	214	9,00	17,39	27,00	14,9	24,48	29,70
	<i>T25</i>	870	178	6,70	17,68	25,10	7,56	24,25	29,60
	<i>T33</i>	719	146	4,00	16,73	28,30	4,88	21,23	26,29
	<i>T50</i>	591	122	7,60	17,75	28,50	15,06	23,45	28,18
Subtotal		3222	660						
Total		8005	1653						

em que: *DAP* = diâmetro à 1,30 m (cm); mín = mínimo; méd = médio; máx = máximo; *Ht* = altura total (m), n = número de observações, N° de ind. = número de indivíduos; *T0*, *T25*, *T33* e *T50* são os tratamentos de desbaste.

3.2.4 – Critérios de avaliação dos modelos

A verificação da qualidade das equações ajustadas, tanto na fase de ajuste quanto na de validação, foi realizada mediante as seguintes estatísticas: coeficiente de correlação de Pearson (*r*), raiz quadrada do erro médio (%), Bias absoluto e percentual, média das diferenças absolutas e análise gráfica de resíduos (dispersão, gráfico de 45 graus e histograma dos resíduos percentuais) cujas relações funcionais encontram-se descritas em Özelik et al. (2010), Binoti et al. (2015) e Campos e Leite (2017).

3.2.5 – Simulação de desbastes e projeção do crescimento

De posse das equações de crescimento ajustadas para cada índice de competição, foram realizadas simulações de desbaste e a projeção do crescimento das árvores remanescentes. Sendo considerados três cenários:

- *Cenário A:*

Com os dados dos tratamentos *T25*, *T33*, *T50* aos 60 meses pré-desbaste, simulou-se, de forma aleatória, o desbaste da mesma intensidade realizado nos respectivos tratamentos. Por exemplo, nos dados pré-desbaste do *T25* foram desbastados 25% dos indivíduos de forma aleatória e projetado o crescimento das árvores remanescentes até os 95 meses de idade. Foram feitas 30 simulações para cada intensidade de desbaste, por equação e índice de competição, totalizando 1440 simulações.

- *Cenário B:*

Com os dados do tratamento *T0* (testemunha) aos 60 meses simulou-se a implantação dos tratamentos *T25*, *T33* e *T50* através do desbaste aleatório do mesmo percentual de número de indivíduos realizado nestes respectivos tratamentos. Foram feitas 30 simulações para cada intensidade de desbaste, por equação e índice de competição, totalizando 1440 simulações.

- *Cenário C:*

Com os dados dos tratamentos *T0*, *T25*, *T33* e *T50* aos 60 meses pós-desbaste, fez-se a projeção do crescimento em diâmetro e em altura das árvores remanescentes com cada uma das equações e índices de competição.

As projeções do crescimento foram realizadas para os seguintes intervalos de tempo (meses): 60 a 67; 67 a 74; 74 a 81; 81 a 88 e 88 a 95. Em cada simulação foram calculadas as variáveis de povoamento área basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$), diâmetro médio (cm) e a média da altura total (m), bem como as médias e os desvios-padrões destas variáveis após a 30ª simulação. Os resultados obtidos foram comparados aos observados em suas respectivas intensidades de desbaste e idades após cada simulação. A área basal foi ajustada considerando a mortalidade das árvores observada em cada idade nos respectivos tratamentos.

Selecionou-se aleatoriamente árvores pequenas ($DAP < \overline{DAP} - Sd$), médias ($\overline{DAP} - Sd \leq DAP \leq \overline{DAP} + Sd$) e grandes ($DAP > \overline{DAP} + Sd$), da bordadura e do interior do talhão, em cada tratamento para verificar graficamente a precisão das estimativas diamétricas obtidas em nível de árvore individual.

Para automatização das simulações de desbaste e projeção do crescimento utilizou-se um aplicativo desenvolvido em ambiente *Visual Basic for Applications*, utilizando o Microsoft Excel®, versão 2007. O fluxograma de passos básicos e decisões seguidas neste aplicativo é apresentado na Figura 3.1.

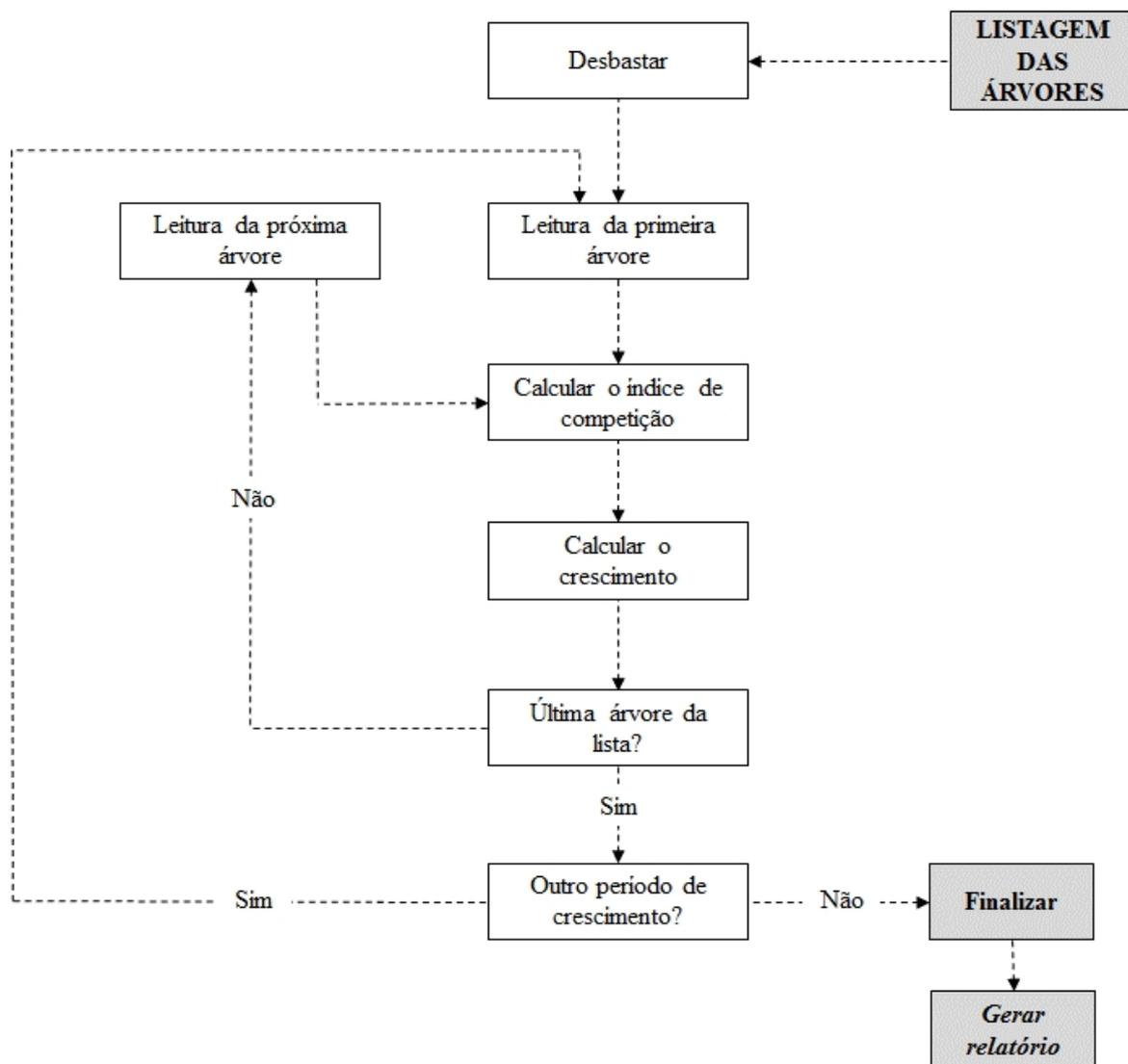


Figura 3.1 – Fluxograma de passos para utilização do aplicativo desenvolvido para simular o desbaste e projetar o crescimento de árvores individuais. *Fonte: Adaptado de Davis e Johnson (1987).*

3.3 – RESULTADOS

As estatísticas utilizadas para avaliar a qualidade das estimativas indicaram que as equações referentes aos quatro modelos proporcionaram resultados satisfatórios e similares (Tabela 3.4). Em todos os casos as correlações (r) foram superiores a 0,97 e os erros médios (RQEM) inferiores a 3,27%. Nota-se que, para um mesmo modelo, as estimativas obtidas com as equações ajustadas por índice de competição variaram muito pouco.

Os resultados relacionados à variável diâmetro indicam que o modelo Linear (3) foi superior aos demais, pois proporcionou os maiores valores de correlação (0,99), erros inferiores à 2,77%, Bias próximo a zero e menores valores para MDA, tanto no ajuste quanto

na validação. Os resultados de Bias indicaram tendência de superestimação, e esta foi mais evidente para os modelos 1 e 2, possivelmente pelo fato dos modelos 3 e 4 serem lineares e terem seus interceptos calculados pelo método dos mínimos quadrados ordinários.

Para a variável altura total, todos os modelos apresentaram correlações iguais a 0,97, sendo o modelo 3 aquele que resultou em um menor erro médio percentual (RQEM inferior à 2,70%) e menores valores para MDA, evidenciando sua superioridade em relação aos modelos restantes. Da mesma forma que para a variável diâmetro, o Bias indicou tendência de superestimação para os modelos 1 e 2. Praticamente não houve diferença nas estimativas obtidas com as equações ajustadas por índice de competição para um mesmo modelo.

A dispersão dos resíduos percentuais para as estimativas de diâmetro (Figura 3.2) mostra que, para todos os modelos avaliados, os erros apresentaram uma amplitude máxima de $\pm 20\%$ e satisfatória distribuição dos pontos, principalmente com o modelo 2. Os modelos 1, 3 e 4 apresentaram tendência de superestimação dos diâmetros para árvores menores, sendo esta mais evidente com o quarto modelo quando ajustado com os índices NBAL e BAL. Nos demais, não houve diferença evidente na distribuição dos resíduos ao comparar as equações ajustadas com diferentes índices de competição.

Para o crescimento em altura total (Figura 3.2), observou-se que os erros, em sua maioria, não excederam $\pm 10\%$ e os modelos apresentaram resíduos homocedásticos e livre de tendências. Todas as equações apresentaram dificuldade em estimar a altura de árvores menores que 15 metros, sendo que às obtidas pelos modelos 1 e 4 superestimaram a altura das árvores destas dimensões.

Tabela 3.4 – Parâmetros das equações de crescimento ajustadas por índice de competição e suas respectivas estatísticas de qualidade nas fases de ajuste e validação em povoamento de eucalipto submetido a diferentes intensidades de desbaste, em Brasília-DF

Y ₂	n	IC	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	Ajuste				Validação					
							r	RQEM (%)	Bias	Bias (%)	MDA	r	RQEM (%)	Bias	Bias (%)	MDA
DAP2	1	NIID1	18,6916	3,2619	0,8608	-	0,98	3,03	0,03	0,15	0,40	0,98	3,03	0,02	0,11	0,41
DAP2	1	NIID2	19,8268	3,9334	0,7164	-	0,98	3,06	0,03	0,16	0,41	0,98	3,05	0,02	0,11	0,41
DAP2	1	NBAL	31,7152	-1,2082	1,0447	-	0,98	3,00	0,02	0,13	0,39	0,98	2,96	0,03	0,15	0,40
DAP2	1	BAL	30,1357	-0,4836	1,3193	-	0,98	2,99	0,02	0,11	0,39	0,98	2,92	0,03	0,15	0,39
DAP2	2	NIID1	-	-39,7485	-0,0021	-	0,98	2,99	0,04	0,25	0,40	0,98	2,96	0,04	0,23	0,40
DAP2	2	NIID2	-	-40,1243	-0,0023	-	0,98	2,99	0,05	0,25	0,40	0,98	2,96	0,04	0,24	0,40
DAP2	2	NBAL	-	-41,5068	-0,0023	-	0,98	2,94	0,05	0,29	0,38	0,98	2,94	0,06	0,33	0,39
DAP2	2	BAL	-	-42,0792	-0,0008	-	0,98	2,96	0,05	0,29	0,39	0,98	2,95	0,06	0,34	0,40
DAP2	3	NIID1	-0,9534	-1065,0486	0,0992	-	0,99	2,73	0,00	0,00	0,35	0,99	2,72	-0,01	-0,03	0,36
DAP2	3	NIID2	-0,9533	-1065,3522	0,0992	-	0,99	2,75	0,00	0,00	0,36	0,99	2,73	-0,01	-0,04	0,36
DAP2	3	NBAL	-0,4633	-1046,5084	-0,0345	-	0,99	2,76	0,00	0,00	0,36	0,99	2,72	0,00	0,00	0,36
DAP2	3	BAL	-0,4631	-1063,3277	-0,0138	-	0,98	2,77	0,00	0,00	0,36	0,99	2,73	0,00	0,00	0,36
DAP2	4	NIID1	1,3291	0,9906	-0,0407	0,1420	0,98	3,24	0,00	0,00	0,43	0,98	3,23	-0,01	-0,04	0,43
DAP2	4	NIID2	1,3320	1,0178	-0,0573	0,1162	0,98	3,27	0,00	0,00	0,44	0,98	3,25	-0,01	-0,04	0,44
DAP2	4	NBAL	2,2195	0,9452	-0,0104	-0,0849	0,98	3,21	0,00	0,00	0,42	0,98	3,17	0,01	0,03	0,42
DAP2	4	BAL	2,8844	0,9070	-0,0009	-0,0489	0,98	3,19	0,00	0,00	0,41	0,98	3,11	0,01	0,05	0,41
Ht2	1	NIID1	34,8602	0,3820	0,9166	-	0,97	2,72	0,02	0,06	0,46	0,97	2,74	0,01	0,04	0,47
Ht2	1	NIID2	35,7275	0,1803	0,9048	-	0,97	2,72	0,02	0,06	0,47	0,97	2,74	0,01	0,03	0,47
Ht2	1	NBAL	248,7117	4,0350	0,1585	-	0,97	2,82	0,02	0,07	0,50	0,97	2,85	0,01	0,06	0,50
Ht2	1	BAL	111,8937	5,6121	0,1922	-	0,97	2,81	0,02	0,06	0,50	0,97	2,85	0,01	0,02	0,50
Ht2	2	NIID1	-	-34,8851	-0,0021	-	0,97	2,74	0,02	0,10	0,48	0,97	2,78	0,02	0,10	0,48
Ht2	2	NIID2	-	-35,2271	-0,0023	-	0,97	2,74	0,02	0,10	0,48	0,97	2,78	0,02	0,10	0,48
Ht2	2	NBAL	-	-29,4472	0,0001	-	0,97	2,76	0,04	0,15	0,48	0,97	2,80	0,04	0,16	0,49
Ht2	2	BAL	-	-28,5937	0,0001	-	0,97	2,76	0,04	0,16	0,48	0,97	2,80	0,04	0,16	0,49
Ht2	3	NIID1	-0,2804	-878,3528	0,0061	-	0,97	2,68	0,00	0,00	0,45	0,97	2,70	0,00	-0,01	0,46
Ht2	3	NIID2	-0,2673	-879,4706	0,0016	-	0,97	2,68	0,00	0,00	0,45	0,97	2,70	0,00	-0,01	0,46
Ht2	3	NBAL	-0,3043	-889,0458	0,0073	-	0,97	2,68	0,00	0,00	0,45	0,97	2,70	0,00	-0,02	0,46
Ht2	3	BAL	-0,3293	-888,8378	0,0047	-	0,97	2,68	0,00	0,00	0,45	0,97	2,70	-0,01	-0,02	0,46

Continua...

Tabela 3.4, cont...

Y ₂	n	IC	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	Ajuste					Validação				
							r	RQEM (%)	Bias	Bias (%)	MDA	r	RQEM (%)	Bias	Bias (%)	MDA
<i>Hi2</i>	4	NIID1	2,3781	0,0544	0,8928	0,0037	0,97	2,82	0,00	0,00	0,48	0,97	2,80	0,00	-0,01	0,48
<i>Hi2</i>	4	NIID2	2,4125	0,0579	0,8901	-0,0063	0,97	2,82	0,00	0,00	0,48	0,97	2,80	0,00	-0,01	0,48
<i>Hi2</i>	4	NBAL	2,3715	0,0602	0,8887	0,0033	0,97	2,82	0,00	0,00	0,48	0,97	2,80	0,00	-0,02	0,48
<i>Hi2</i>	4	BAL	2,3608	0,0597	0,8895	0,0012	0,97	2,82	0,00	0,00	0,48	0,97	2,81	0,00	-0,02	0,48

em que: Y₂ = diâmetro (cm) ou altura total (m) em idade futura; *DAP2* = diâmetro medido a 1,30 m em idade futura (cm); *Hi2* = altura total em idade futura (m); n = número do modelo; IC = índices de competição; S₀, S₁, S₂, S₃ = parâmetros dos modelo; r = coeficiente de correlação de Pearson; RQEM = raiz quadrada do erro médio percentual; Bias = viés, em m e percentual; e, MDA = média das diferenças absolutas (m).

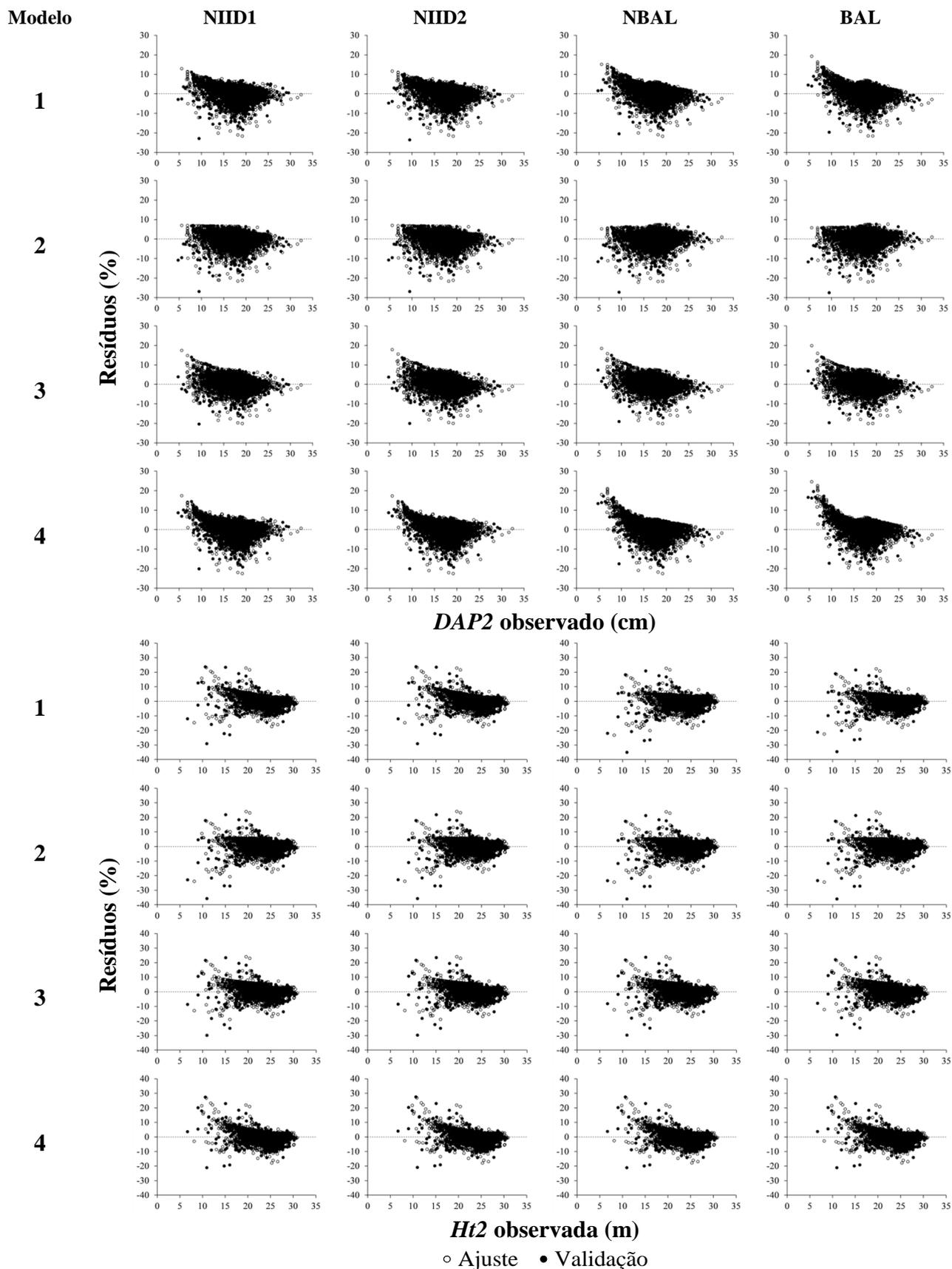


Figura 3.2 – Dispersão dos resíduos percentuais dos modelos de crescimento em função dos diâmetros e alturas observadas, por índice de competição, nas fases de ajuste e validação.

Nos gráficos de diâmetro estimado *versus* diâmetro observado (Figura 3.3), os valores obtidos pelas equações referentes aos quatro modelos estão concentrados próximos da linha 1:1, refletindo a qualidade do ajuste das equações com os diferentes índices de competição. Nota-se superioridade do modelo 3 devido a menor dispersão dos pontos em relação a linha 1:1. Os modelos 1 e 4 apresentaram tendência de subestimação para árvores médias (em torno de 20 cm).

Para a variável altura, os pontos estão próximos à linha 1:1 em todos os modelos (Figura 3.3), podendo-se observar que as estimativas foram menos precisas para árvores de tamanhos menores (inferiores a 15 m). As tendências dos quatro modelos foram semelhantes e não houve diferenças quando comparadas as equações oriundas dos diferentes índices de competição.

A análise dos histogramas de frequência dos erros demonstrou que, tanto para diâmetro quanto para altura, a maioria das estimativas obtidas com os modelos concentraram-se nas classes de 0% de erro (concentração superior à 80% das observações) com distribuição tendendo a uma curva normal (Figura 3.4), sugerindo que, para todos os casos, a pressuposição de normalidade dos erros foi atendida (CAMPOS e LEITE, 2017). Não foram observadas diferenças de precisão entre modelos e nem entre equações oriundas dos diferentes índices de competição.

As estimativas das variáveis de povoamento área basal, diâmetro médio e média da altura total obtidas nas simulações considerando o cenário A para os tratamentos *T25*, *T33* e *T50* são apresentadas na Tabela 3.5, 3.6 e 3.7, respectivamente.

Os valores médios das variáveis de povoamento obtidos nas simulações foram próximos aos observados no desbaste real aplicado no *T25* (Tabela 3.5). Aos 95 meses, os erros observados entre os procedimentos variaram de -1,16% a 7,53% para a área basal, -0,79% a 3,39% para o diâmetro médio e -1,97% a -0,65% para a altura total. Considerando a variável área basal, as estimativas mais próximas aos dados observados foram obtidas utilizando o modelo 3 ajustado com o índice BAL. Para o diâmetro médio, a combinação que proporcionou as estimativas mais precisas foi o modelo 3 ajustado com índice NBAL, havendo pequena diferença para este mesmo modelo ajustado com o BAL. E, por fim, para a média da altura total, o modelo 3 ajustado com NIID1 resultou nas melhores estimativas. Considerando todas as variáveis, a combinação que proporcionou as estimativas mais próximas aos dados observados nas simulações de desbaste do *T25* foi o modelo 3 ajustado com o BAL e, em segundo lugar, esse mesmo modelo ajustado com NBAL.

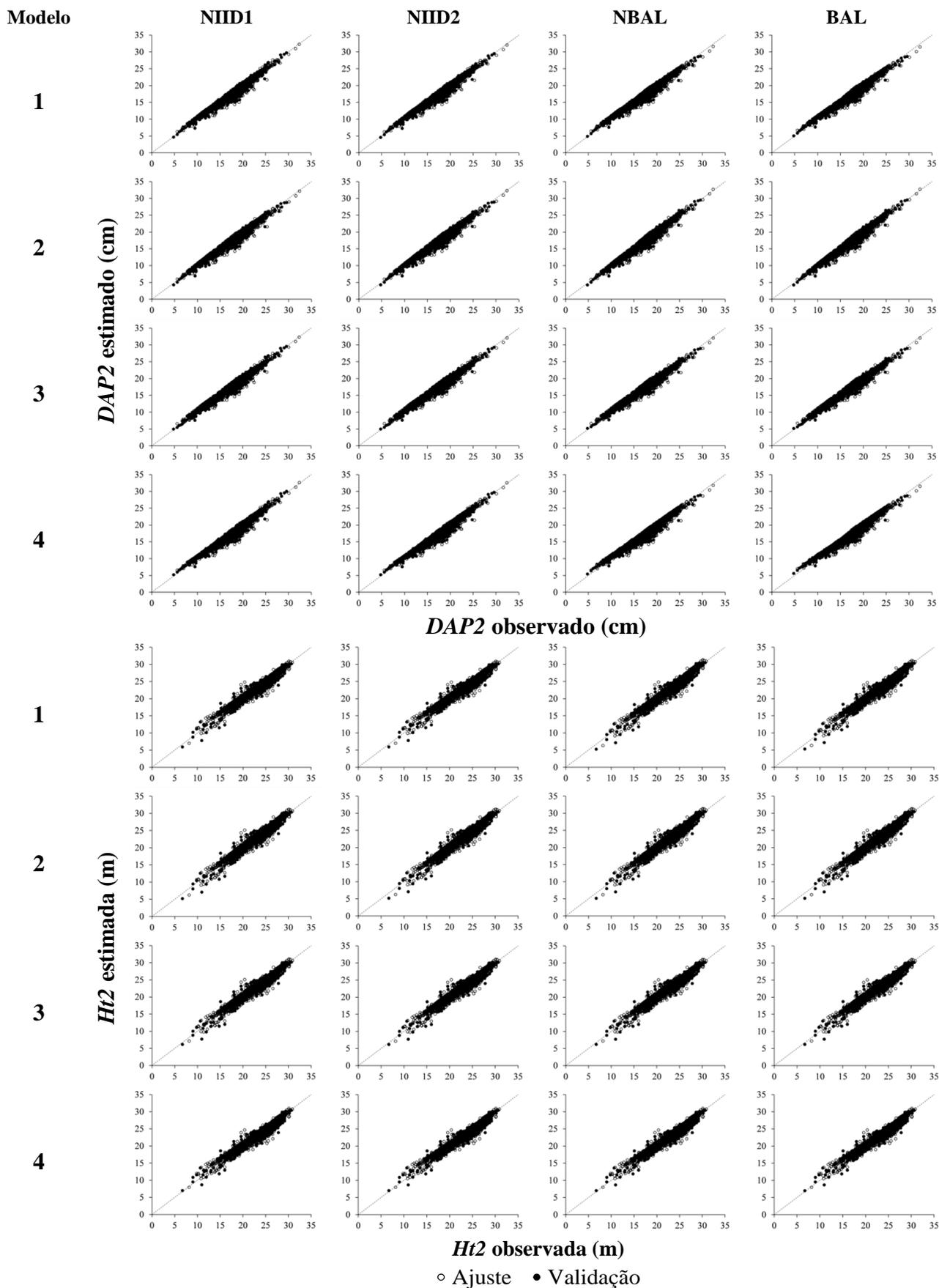


Figura 3.3 – Diâmetro e altura estimados em função dos valores observados, para os modelos de crescimento ajustados por índice de competição nas fases de ajuste e validação.

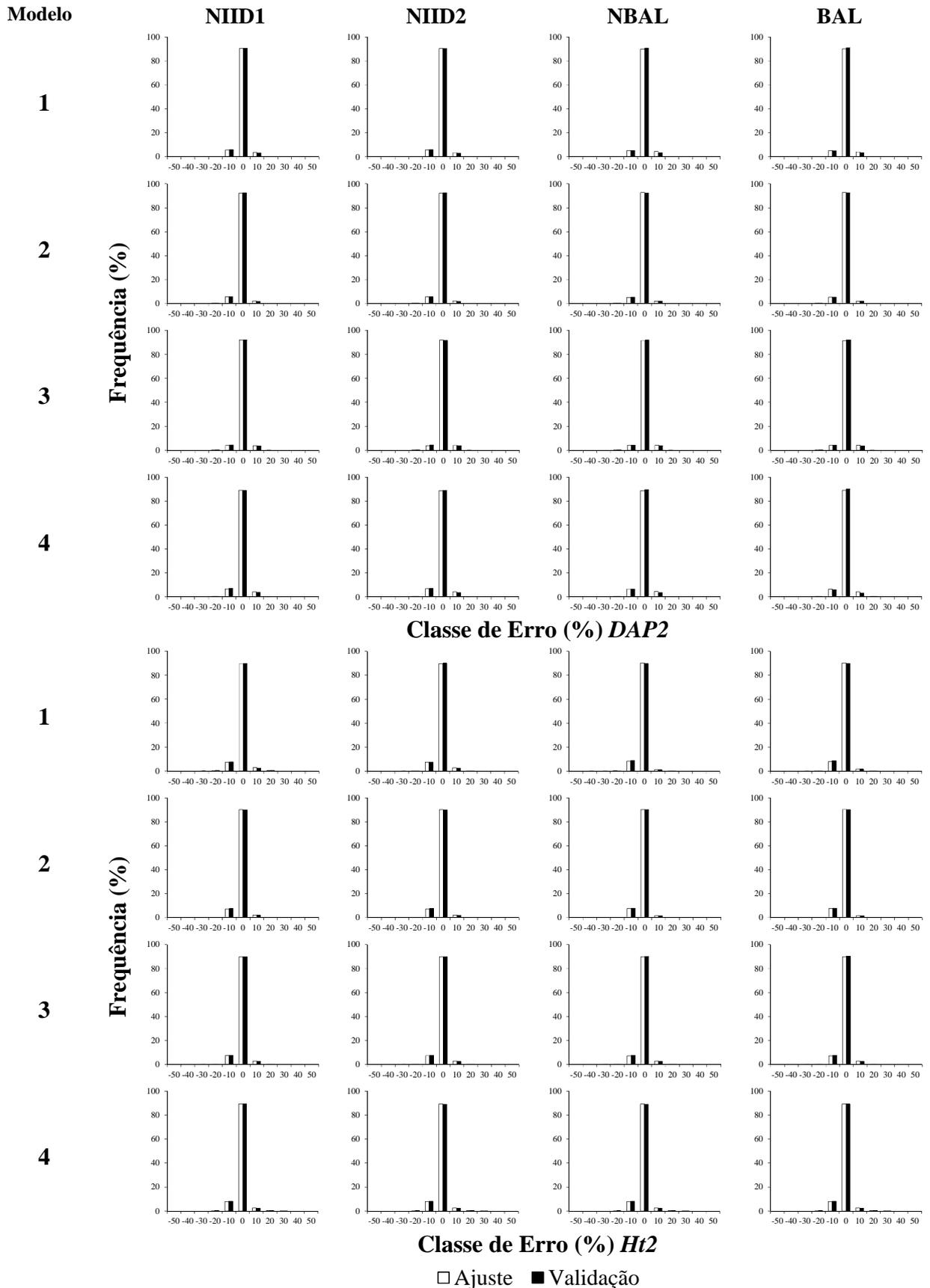


Figura 3.4 – Histograma dos resíduos percentuais dos modelos de crescimento ajustados para diâmetro e altura total por índice de competição, nas fases de ajuste e validação.

Tabela 3.5 – Estimativa das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário A com dados de T25 pré-desbaste

Idade (meses)	Área Basal (m ² .ha ⁻¹)							Diâmetro médio (cm)							Ht média (m)							
	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	
Dados observados	21,17	16,91	19,5	21,01	22,61	24,22	24,55	15,74	15,78	17,08	17,74	18,45	19,12	19,25	21,68	21,72	23,11	24,17	25,32	25,8	26,17	
Equação 1	NIID1	21,17	16,83	18,86	20,97	22,87	24,67	26,40	15,74	15,74	16,79	17,71	18,53	19,25	19,90	21,68	21,69	22,78	23,73	24,54	25,26	25,89
	Erro (%)	0,00	-0,45	-3,32	-0,19	1,15	1,84	7,53	0,00	-0,24	-1,69	-0,15	0,42	0,69	3,39	0,00	-0,16	-1,41	-1,84	-3,07	-2,11	-1,08
	NIID2	21,17	16,82	18,79	20,86	22,75	24,57	26,34	15,74	15,74	16,76	17,67	18,48	19,21	19,88	21,68	21,68	22,76	23,69	24,50	25,21	25,84
	Erro (%)	0,00	-0,49	-3,68	-0,70	0,64	1,44	7,29	0,00	-0,26	-1,87	-0,40	0,17	0,49	3,27	0,00	-0,20	-1,50	-1,97	-3,23	-2,29	-1,28
	NBAL	21,17	16,82	18,85	20,92	22,74	24,43	26,01	15,74	15,73	16,79	17,69	18,48	19,16	19,76	21,68	21,67	22,63	23,50	24,32	25,08	25,80
	Erro (%)	0,00	-0,54	-3,34	-0,41	0,58	0,84	5,97	0,00	-0,29	-1,70	-0,26	0,14	0,20	2,65	0,00	-0,21	-2,10	-2,76	-3,95	-2,79	-1,43
	BAL	21,17	16,80	18,87	20,66	22,10	23,34	24,42	15,74	15,73	16,80	17,59	18,22	18,73	19,15	21,68	21,65	22,58	23,46	24,29	25,06	25,80
	Erro (%)	0,00	-0,67	-3,26	-1,63	-2,23	-3,66	-0,53	0,00	-0,35	-1,65	-0,87	-1,25	-2,02	-0,51	0,00	-0,30	-2,28	-2,93	-4,08	-2,86	-1,42
Equação 2	NIID1	21,17	16,81	18,65	20,47	21,97	23,29	24,46	15,74	15,73	16,70	17,50	18,16	18,71	19,17	21,68	21,67	22,82	23,76	24,52	25,14	25,66
	Erro (%)	0,00	-0,60	-4,36	-2,57	-2,82	-3,85	-0,35	0,00	-0,32	-2,22	-1,34	-1,55	-2,13	-0,42	0,00	-0,22	-1,25	-1,71	-3,16	-2,54	-1,96
	NIID2	21,17	16,84	18,69	20,51	22,01	23,32	24,48	15,74	15,75	16,72	17,52	18,18	18,72	19,17	21,68	21,69	22,84	23,77	24,53	25,15	25,65
	Erro (%)	0,00	-0,40	-4,16	-2,38	-2,66	-3,74	-0,29	0,00	-0,21	-2,11	-1,24	-1,47	-2,07	-0,39	0,00	-0,16	-1,19	-1,66	-3,12	-2,52	-1,97
	NBAL	21,17	16,86	18,98	21,11	22,95	24,62	26,15	15,74	15,75	16,85	17,77	18,56	19,23	19,81	21,68	21,69	22,84	23,81	24,64	25,37	26,00
	Erro (%)	0,00	-0,31	-2,68	0,48	1,49	1,62	6,53	0,00	-0,17	-1,36	0,18	0,59	0,59	2,92	0,00	-0,12	-1,18	-1,49	-2,68	-1,68	-0,65
	BAL	21,17	16,81	18,89	20,86	22,46	23,83	25,00	15,74	15,73	16,81	17,67	18,37	18,93	19,38	21,68	21,67	22,80	23,76	24,60	25,34	25,99
	Erro (%)	0,00	-0,58	-3,14	-0,70	-0,63	-1,61	1,85	0,00	-0,30	-1,60	-0,41	-0,46	-1,00	0,66	0,00	-0,24	-1,36	-1,69	-2,84	-1,80	-0,69
Equação 3	NIID1	21,17	16,86	19,48	21,74	23,41	24,68	25,65	15,74	15,75	17,07	18,04	18,75	19,26	19,63	21,68	21,69	22,97	23,95	24,72	25,32	25,80
	Erro (%)	0,00	-0,31	-0,11	3,49	3,54	1,90	4,48	0,00	-0,17	-0,07	1,67	1,61	0,75	1,96	0,00	-0,12	-0,62	-0,91	-2,38	-1,85	-1,41
	NIID2	21,17	16,85	19,47	21,72	23,39	24,66	25,62	15,74	15,75	17,06	18,03	18,74	19,25	19,62	21,68	21,69	22,96	23,93	24,70	25,30	25,77
	Erro (%)	0,00	-0,36	-0,18	3,41	3,46	1,81	4,38	0,00	-0,20	-0,10	1,63	1,57	0,70	1,91	0,00	-0,16	-0,67	-0,98	-2,46	-1,94	-1,52
	NBAL	21,17	16,81	19,32	21,45	23,01	24,16	25,01	15,74	15,73	17,00	17,92	18,59	19,06	19,39	21,68	21,67	22,93	23,89	24,64	25,23	25,69
	Erro (%)	0,00	-0,58	-0,96	2,13	1,76	-0,24	1,90	0,00	-0,30	-0,49	1,00	0,74	-0,31	0,71	0,00	-0,24	-0,79	-1,14	-2,67	-2,21	-1,85
	BAL	21,17	16,82	19,30	21,32	22,70	23,65	24,26	15,74	15,74	16,99	17,86	18,47	18,86	19,10	21,68	21,67	22,94	23,91	24,67	25,28	25,75
	Erro (%)	0,00	-0,53	-1,05	1,49	0,43	-2,35	-1,16	0,00	-0,28	-0,54	0,69	0,08	-1,35	-0,79	0,00	-0,21	-0,75	-1,07	-2,55	-2,03	-1,60
Equação 4	NIID1	21,17	16,86	18,52	20,43	22,29	24,19	26,13	15,74	15,76	16,64	17,49	18,29	19,07	19,80	21,68	21,70	22,61	23,48	24,30	25,07	25,81
	Erro (%)	0,00	-0,28	-5,05	-2,73	-1,39	-0,12	6,46	0,00	-0,15	-2,57	-1,43	-0,84	-0,29	2,86	0,00	-0,10	-2,15	-2,86	-4,03	-2,81	-1,38
	NIID2	21,17	16,83	18,40	20,23	22,02	23,87	25,78	15,74	15,74	16,59	17,40	18,18	18,94	19,67	21,68	21,68	22,59	23,44	24,25	25,02	25,74
	Erro (%)	0,00	-0,44	-5,66	-3,69	-2,58	-1,44	5,03	0,00	-0,23	-2,88	-1,91	-1,44	-0,94	2,17	0,00	-0,19	-2,27	-3,01	-4,22	-3,04	-1,64

Continua...

Tabela 3.5 cont...

Idade (meses)	Área Basal (m ² .ha ⁻¹)							Diâmetro médio (cm)							Ht média (m)							
	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	
Dados observados	21,17	16,91	19,5	21,01	22,61	24,22	24,55	15,74	15,78	17,08	17,74	18,45	19,12	19,25	21,68	21,72	23,11	24,17	25,32	25,8	26,17	
NBAL	21,17	16,84	18,55	20,48	22,32	24,16	26,00	15,74	15,75	16,65	17,51	18,31	19,05	19,75	21,68	21,69	22,59	23,45	24,27	25,04	25,77	
Equação 4	Erro (%)	0,00	-0,41	-4,89	-2,51	-1,27	-0,26	5,93	0,00	-0,22	-2,49	-1,31	-0,78	-0,35	2,61	0,00	-0,15	-2,24	-2,97	-4,15	-2,94	-1,51
BAL	21,17	16,83	18,62	20,36	21,88	23,27	24,53	15,74	15,74	16,69	17,46	18,13	18,70	19,19	21,68	21,68	22,59	23,46	24,27	25,04	25,76	
Erro (%)	0,00	-0,45	-4,55	-3,06	-3,22	-3,95	-0,06	0,00	-0,24	-2,31	-1,59	-1,75	-2,18	-0,29	0,00	-0,16	-2,24	-2,96	-4,13	-2,93	-1,55	

60* = após a realização do desbaste aleatório.

As simulações referentes ao *T33* (Tabela 3.6) mostram que, aos 95 meses, os erros observados entre os procedimentos variaram de -6,93% a 18,37% para a área basal, -3,66% a 8,52% para o diâmetro médio e -2,35% a 5,54% para a altura total. Estimativas mais precisas da área basal e do diâmetro médio foram obtidas utilizando o modelo 3 ajustado com o índice NBAL, seguido muito próximo do modelo 3 ajustado com BAL. Já para a média da altura total, o modelo 2 ajustado com NBAL resultou nas estimativas mais consistentes, havendo pouca diferença para este mesmo modelo ajustado com o BAL. De forma geral, a combinação que proporcionou maior precisão das estimativas nas simulações de desbaste do *T33* foi o modelo 3 quando ajustado com o índice de competição NBAL e em segundo lugar, esse mesmo modelo ajustado com BAL.

As simulações realizadas com os dados do *T50* (Tabela 3.7) mostram que aos 95 meses, os erros observados entre os procedimentos variaram de -11,69% a 19,59% para a área basal, -6,65% a 8,0% para o diâmetro médio e 0,77% a 4,96% para a altura total. O modelo 3 ajustado com o NBAL foi superior aos demais para as variáveis área basal e diâmetro médio. Já para a altura total, o modelo 2 ajustado com NIID1 apresentou maior desempenho. De forma global, a combinação que resultou nas estimativas mais próximas aos dados observados nas simulações de desbaste do *T50* foi o modelo 3 quando ajustado com o índice de competição BAL e em segundo lugar, a combinação do modelo 1 ajustado com BAL.

Para melhor visualização do comportamento e tendências das estimativas, os resultados das simulações oriundas do Cenário A foram plotados em gráficos que são apresentados na Figura 3.5, com os desvios-padrões das 30 simulações em cada idade.

Tabela 3.6 – Estimativa das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário A com dados de T33 pré-desbaste

Idade (meses)	Área Basal (m ² .ha ⁻¹)							Diâmetro médio (cm)							Ht média (m)							
	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	
Dados observados	18,75	12,49	14,89	16,05	17,43	18,77	19,09	15,03	15,00	16,47	17,14	17,87	18,54	18,72	19,43	19,40	20,41	21,72	22,16	22,73	23,20	
Equação 1	NIID1	18,75	12,53	14,50	16,44	18,38	20,21	21,88	15,03	15,03	16,25	17,34	18,32	19,20	20,00	19,43	19,42	20,65	21,72	22,65	23,46	24,19
	Erro (%)	0,00	0,35	-2,61	2,46	5,43	7,65	14,62	0,00	0,18	-1,33	1,18	2,51	3,55	6,82	0,00	0,12	1,18	-0,02	2,19	3,23	4,27
	NIID2	18,75	12,52	14,38	16,23	18,10	19,88	21,53	15,03	15,02	16,18	17,23	18,18	19,04	19,83	19,43	19,42	20,62	21,65	22,56	23,37	24,08
	Erro (%)	0,00	0,24	-3,44	1,14	3,81	5,90	12,77	0,00	0,13	-1,75	0,52	1,73	2,71	5,95	0,00	0,08	1,01	-0,30	1,82	2,79	3,78
	NBAL	18,75	12,54	14,35	16,09	17,77	19,32	20,68	15,03	15,03	16,17	17,16	18,02	18,77	19,44	19,43	19,44	20,33	21,15	21,91	22,62	23,29
	Erro (%)	0,00	0,41	-3,58	0,27	1,95	2,89	8,32	0,00	0,21	-1,82	0,09	0,82	1,26	3,87	0,00	0,21	-0,40	-2,64	-1,13	-0,48	0,39
	BAL	18,75	12,53	14,43	16,07	17,55	18,82	19,85	15,03	15,03	16,21	17,15	17,91	18,53	19,06	19,43	19,42	20,27	21,07	21,83	22,54	23,21
	Erro (%)	0,00	0,33	-3,05	0,14	0,70	0,26	3,98	0,00	0,17	-1,56	0,03	0,21	-0,03	1,79	0,00	0,12	-0,67	-2,98	-1,51	-0,86	0,03
Equação 2	NIID1	18,75	12,50	13,86	15,06	16,15	17,06	17,77	15,03	15,01	15,89	16,60	17,18	17,65	18,03	19,43	19,41	20,39	21,17	21,79	22,29	22,68
	Erro (%)	0,00	0,07	-6,92	-6,13	-7,33	-9,11	-6,93	0,00	0,04	-3,54	-3,14	-3,85	-4,78	-3,66	0,00	0,06	-0,12	-2,55	-1,68	-1,96	-2,24
	NIID2	18,75	12,52	13,88	15,09	16,18	17,08	17,78	15,03	15,02	15,90	16,62	17,19	17,66	18,04	19,43	19,42	20,39	21,16	21,78	22,27	22,66
	Erro (%)	0,00	0,23	-6,76	-5,97	-7,20	-9,01	-6,88	0,00	0,12	-3,45	-3,06	-3,78	-4,73	-3,64	0,00	0,08	-0,10	-2,56	-1,71	-2,02	-2,35
	NBAL	18,75	12,50	14,20	15,80	17,33	18,71	19,90	15,03	15,01	16,08	17,00	17,79	18,48	19,07	19,43	19,42	20,44	21,31	22,06	22,70	23,27
	Erro (%)	0,00	0,10	-4,59	-1,51	-0,57	-0,35	4,20	0,00	0,05	-2,34	-0,80	-0,43	-0,34	1,89	0,00	0,11	0,17	-1,88	-0,46	-0,11	0,30
	BAL	18,75	12,56	14,24	15,74	17,12	18,30	19,25	15,03	15,05	16,10	16,97	17,69	18,28	18,76	19,43	19,44	20,45	21,31	22,06	22,71	23,29
	Erro (%)	0,00	0,59	-4,38	-1,92	-1,79	-2,52	0,82	0,00	0,30	-2,23	-1,00	-1,03	-1,42	0,24	0,00	0,23	0,21	-1,87	-0,46	-0,08	0,38
Equação 3	NIID1	18,75	12,51	14,86	16,83	18,50	19,84	20,85	15,03	15,02	16,45	17,54	18,38	19,03	19,53	19,43	19,42	20,70	21,69	22,46	23,08	23,56
	Erro (%)	0,00	0,20	-0,21	4,85	6,14	5,71	9,22	0,00	0,10	-0,12	2,35	2,87	2,64	4,32	0,00	0,08	1,41	-0,15	1,37	1,52	1,56
	NIID2	18,75	12,55	14,88	16,83	18,48	19,80	20,78	15,03	15,04	16,46	17,54	18,37	19,01	19,49	19,43	19,44	20,71	21,69	22,45	23,06	23,53
	Erro (%)	0,00	0,49	-0,07	4,86	6,01	5,45	8,82	0,00	0,25	-0,05	2,35	2,81	2,52	4,12	0,00	0,18	1,46	-0,15	1,33	1,44	1,43
	NBAL	18,75	12,52	14,60	16,28	17,65	18,67	19,36	15,03	15,02	16,31	17,26	17,96	18,46	18,82	19,43	19,42	20,68	21,64	22,38	22,96	23,40
	Erro (%)	0,00	0,27	-1,90	1,48	1,26	-0,53	1,40	0,00	0,14	-0,97	0,70	0,49	-0,41	0,54	0,00	0,12	1,31	-0,39	0,99	0,99	0,88
	BAL	18,75	12,57	14,62	16,22	17,46	18,34	18,85	15,03	15,05	16,32	17,23	17,86	18,30	18,58	19,43	19,44	20,70	21,66	22,41	23,00	23,46
	Erro (%)	0,00	0,62	-1,78	1,08	0,19	-2,33	-1,27	0,00	0,31	-0,91	0,50	-0,03	-1,30	-0,77	0,00	0,23	1,40	-0,28	1,13	1,18	1,12
Equação 4	NIID1	18,75	12,53	14,36	16,32	18,41	20,53	22,60	15,03	15,02	16,17	17,28	18,33	19,35	20,32	19,43	19,43	20,55	21,61	22,62	23,58	24,48
	Erro (%)	0,00	0,30	-3,54	1,70	5,62	9,34	18,37	0,00	0,16	-1,80	0,80	2,60	4,35	8,52	0,00	0,16	0,68	-0,51	2,07	3,72	5,54
	NIID2	18,75	12,53	14,26	16,13	18,15	20,21	22,26	15,03	15,03	16,12	17,18	18,20	19,20	20,16	19,43	19,43	20,52	21,57	22,56	23,50	24,39
	Erro (%)	0,00	0,33	-4,19	0,53	4,12	7,66	16,57	0,00	0,17	-2,13	0,22	1,87	3,55	7,70	0,00	0,13	0,56	-0,71	1,79	3,37	5,14

Continua...

Tabela 3.6 cont...

Idade (meses)	Área Basal (m ² .ha ⁻¹)							Diâmetro médio (cm)							Ht média (m)						
	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95
Dados observados	18,75	12,49	14,89	16,05	17,43	18,77	19,09	15,03	15,00	16,47	17,14	17,87	18,54	18,72	19,43	19,40	20,41	21,72	22,16	22,73	23,20
Equação 4																					
NBAL	18,75	12,56	14,21	15,92	17,71	19,47	21,14	15,03	15,04	16,09	17,07	17,98	18,85	19,65	19,43	19,44	20,54	21,59	22,58	23,51	24,40
Erro (%)	0,00	0,57	-4,57	-0,78	1,60	3,72	10,72	0,00	0,29	-2,33	-0,43	0,64	1,65	4,99	0,00	0,21	0,65	-0,61	1,88	3,45	5,17
BAL	18,75	12,54	14,28	15,92	17,50	18,94	20,16	15,03	15,03	16,13	17,07	17,88	18,59	19,20	19,43	19,43	20,53	21,59	22,58	23,52	24,39
Erro (%)	0,00	0,37	-4,07	-0,79	0,42	0,87	5,61	0,00	0,19	-2,08	-0,43	0,07	0,27	2,57	0,00	0,16	0,61	-0,62	1,90	3,46	5,14

60* = após a realização do desbaste aleatório.

Tabela 3.7 – Estimativa das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário A com dados de T50 pré-desbaste

Idade (meses)	Área Basal (m ² .ha ⁻¹)							Diâmetro médio (cm)							Ht média (m)						
	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95
Dados observados	21,13	12,16	13,88	14,99	16,27	17,42	17,74	15,62	15,81	17,38	18,16	18,92	19,61	19,82	21,84	21,91	22,68	23,71	24,06	24,70	25,02
Equação 1																					
NIID1	21,13	11,85	13,23	15,16	17,17	19,02	20,77	15,62	15,61	16,97	18,19	19,29	20,29	21,20	21,84	21,84	23,00	23,99	24,85	25,60	26,26
Erro (%)	0,00	-2,49	-4,62	1,13	5,49	9,15	17,07	0,00	-1,24	-2,33	0,19	1,98	3,47	6,94	0,00	-0,33	1,39	1,17	3,27	3,64	4,96
NIID2	21,13	11,85	13,10	14,92	16,83	18,61	20,32	15,62	15,61	16,89	18,05	19,11	20,08	20,97	21,84	21,84	22,95	23,91	24,74	25,46	26,10
Erro (%)	0,00	-2,54	-5,56	-0,47	3,45	6,83	14,52	0,00	-1,27	-2,81	-0,59	1,01	2,39	5,80	0,00	-0,33	1,20	0,84	2,81	3,08	4,32
NBAL	21,13	11,87	12,90	14,41	15,92	17,24	18,45	15,62	15,62	16,76	17,75	18,60	19,35	20,02	21,84	21,85	22,80	23,68	24,49	25,25	25,97
Erro (%)	0,00	-2,38	-6,99	-3,91	-2,18	-1,03	3,98	0,00	-1,18	-3,55	-2,28	-1,68	-1,31	0,99	0,00	-0,27	0,54	-0,13	1,80	2,25	3,79
BAL	21,13	11,88	12,97	14,37	15,70	16,78	17,69	15,62	15,63	16,81	17,73	18,48	19,10	19,62	21,84	21,85	22,75	23,59	24,38	25,12	25,82
Erro (%)	0,00	-2,29	-6,50	-4,13	-3,52	-3,71	-0,33	0,00	-1,14	-3,29	-2,37	-2,31	-2,58	-1,01	0,00	-0,25	0,32	-0,50	1,33	1,71	3,21
Equação 2																					
NIID1	21,13	11,81	12,44	13,44	14,38	15,10	15,67	15,62	15,58	16,46	17,15	17,71	18,15	18,50	21,84	21,82	22,86	23,68	24,33	24,83	25,21
Erro (%)	0,00	-2,89	-10,37	-10,38	-11,62	-13,33	-11,69	0,00	-1,44	-5,32	-5,54	-6,39	-7,43	-6,65	0,00	-0,41	0,81	-0,11	1,11	0,52	0,77
NIID2	21,13	11,86	12,50	13,51	14,46	15,19	15,75	15,62	15,62	16,50	17,20	17,76	18,20	18,55	21,84	21,85	22,89	23,71	24,35	24,84	25,22
Erro (%)	0,00	-2,40	-9,88	-9,86	-11,11	-12,84	-11,21	0,00	-1,20	-5,06	-5,28	-6,13	-7,17	-6,39	0,00	-0,29	0,93	-0,01	1,19	0,56	0,78
NBAL	21,13	11,84	12,86	14,33	15,79	17,06	18,19	15,62	15,61	16,73	17,70	18,53	19,25	19,88	21,84	21,83	22,98	23,96	24,80	25,52	26,16
Erro (%)	0,00	-2,57	-7,30	-4,43	-2,96	-2,11	2,52	0,00	-1,28	-3,71	-2,54	-2,06	-1,83	0,30	0,00	-0,34	1,34	1,05	3,06	3,33	4,56
BAL	21,13	11,87	12,85	14,22	15,54	16,62	17,52	15,62	15,63	16,73	17,64	18,39	19,01	19,53	21,84	21,84	22,98	23,94	24,78	25,51	26,15
Erro (%)	0,00	-2,35	-7,38	-5,16	-4,51	-4,63	-1,24	0,00	-1,17	-3,75	-2,89	-2,81	-3,04	-1,46	0,00	-0,30	1,30	0,98	2,98	3,27	4,53

Continua...

Tabela 3.7 cont...

Idade (meses)	Área Basal (m ² .ha ⁻¹)							Diâmetro médio (cm)							Ht média (m)							
	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	60	60*	67	74	81	88	95	
Dados observados	21,13	12,16	13,88	14,99	16,27	17,42	17,74	15,62	15,81	17,38	18,16	18,92	19,61	19,82	21,84	21,91	22,68	23,71	24,06	24,70	25,02	
Equação 3	NIID1	21,13	11,86	13,53	15,46	17,22	18,63	19,79	15,62	15,62	17,17	18,38	19,33	20,10	20,72	21,84	21,85	23,13	24,13	24,91	25,53	26,02
	Erro (%)	0,00	-2,47	-2,47	3,14	5,82	6,92	11,55	0,00	-1,23	-1,23	1,19	2,19	2,51	4,56	0,00	-0,29	2,00	1,77	3,54	3,36	4,01
	NIID2	21,13	11,86	13,52	15,43	17,17	18,55	19,70	15,62	15,62	17,16	18,36	19,31	20,06	20,67	21,84	21,84	23,11	24,10	24,86	25,47	25,95
	Erro (%)	0,00	-2,41	-2,54	2,94	5,51	6,50	11,00	0,00	-1,20	-1,27	1,09	2,04	2,31	4,31	0,00	-0,32	1,91	1,63	3,34	3,11	3,70
	NBAL	21,13	11,87	13,16	14,63	15,89	16,78	17,40	15,62	15,63	16,93	17,89	18,60	19,11	19,48	21,84	21,85	23,10	24,06	24,80	25,37	25,82
	Erro (%)	0,00	-2,34	-5,15	-2,39	-2,35	-3,71	-1,92	0,00	-1,16	-2,60	-1,49	-1,71	-2,54	-1,73	0,00	-0,29	1,85	1,46	3,06	2,72	3,19
	BAL	21,13	11,85	13,11	14,50	15,65	16,40	16,87	15,62	15,61	16,89	17,81	18,46	18,91	19,19	21,84	21,84	23,09	24,05	24,80	25,38	25,84
	Erro (%)	0,00	-2,56	-5,55	-3,26	-3,83	-5,86	-4,89	0,00	-1,28	-2,81	-1,93	-2,43	-3,59	-3,16	0,00	-0,31	1,81	1,44	3,07	2,76	3,28
Equação 4	NIID1	21,13	11,87	13,04	14,91	17,00	19,09	21,22	15,62	15,63	16,85	18,04	19,20	20,32	21,41	21,84	21,85	22,75	23,61	24,45	25,26	26,04
	Erro (%)	0,00	-2,35	-6,01	-0,56	4,49	9,57	19,59	0,00	-1,17	-3,05	-0,65	1,48	3,62	8,00	0,00	-0,29	0,29	-0,40	1,63	2,28	4,10
	NIID2	21,13	11,88	12,87	14,55	16,47	18,41	20,40	15,62	15,63	16,74	17,83	18,91	19,96	21,00	21,84	21,86	22,72	23,55	24,36	25,13	25,88
	Erro (%)	0,00	-2,29	-7,25	-2,93	1,23	5,64	14,99	0,00	-1,14	-3,68	-1,81	-0,07	1,80	5,96	0,00	-0,24	0,18	-0,66	1,23	1,75	3,45
	NBAL	21,13	11,85	12,70	14,14	15,71	17,19	18,63	15,62	15,61	16,63	17,58	18,48	19,32	20,10	21,84	21,84	22,71	23,55	24,35	25,12	25,86
	Erro (%)	0,00	-2,51	-8,49	-5,71	-3,48	-1,34	5,02	0,00	-1,25	-4,33	-3,19	-2,35	-1,50	1,43	0,00	-0,33	0,13	-0,68	1,22	1,71	3,35
	BAL	21,13	11,86	12,80	14,18	15,58	16,80	17,88	15,62	15,62	16,69	17,61	18,41	19,11	19,72	21,84	21,84	22,72	23,56	24,37	25,14	25,87
	Erro (%)	0,00	-2,44	-7,78	-5,42	-4,23	-3,57	0,79	0,00	-1,22	-3,96	-3,03	-2,68	-2,54	-0,52	0,00	-0,30	0,17	-0,61	1,31	1,80	3,41

60* = após a realização do desbaste aleatório.

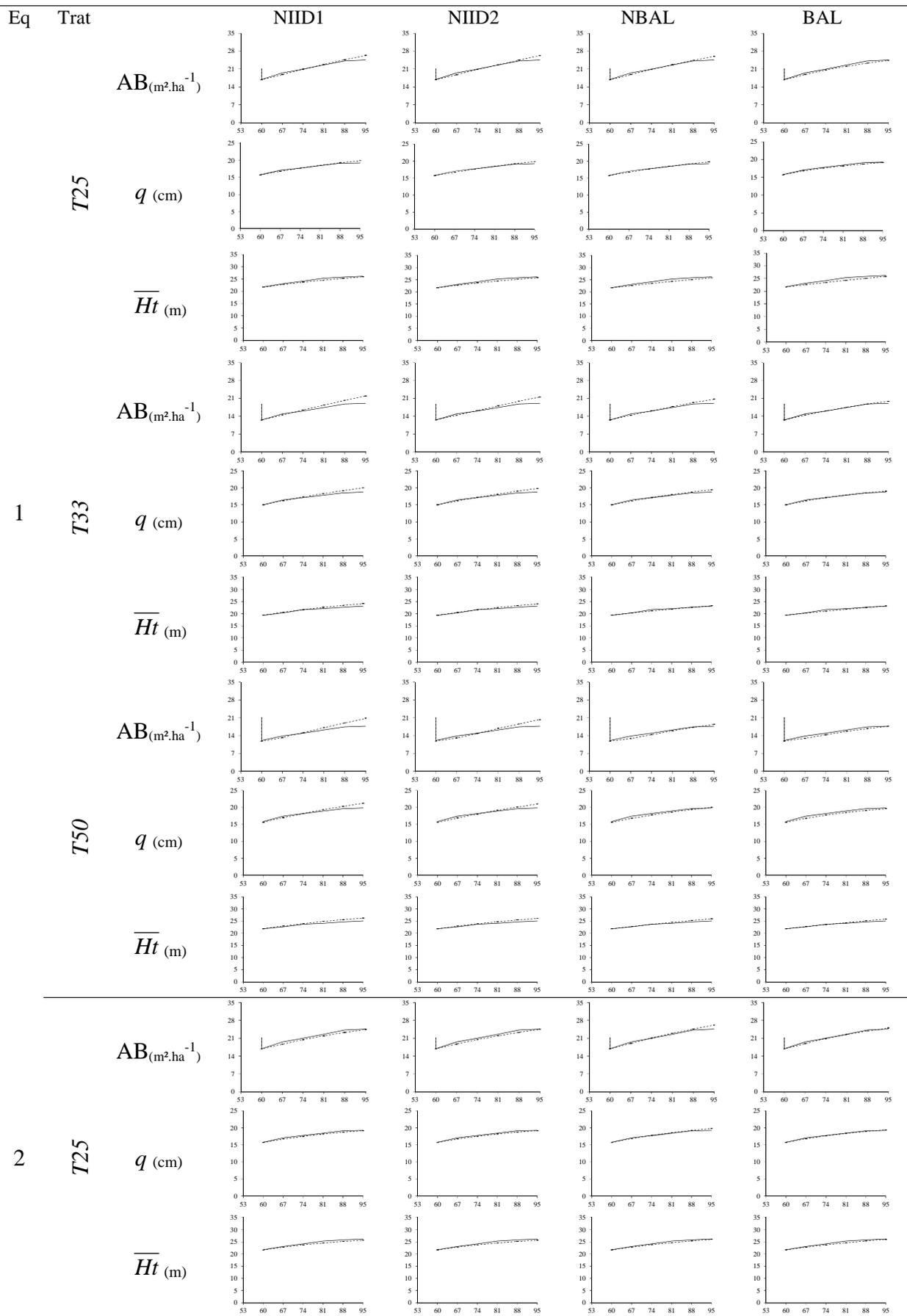


Figura 3.5, continua...

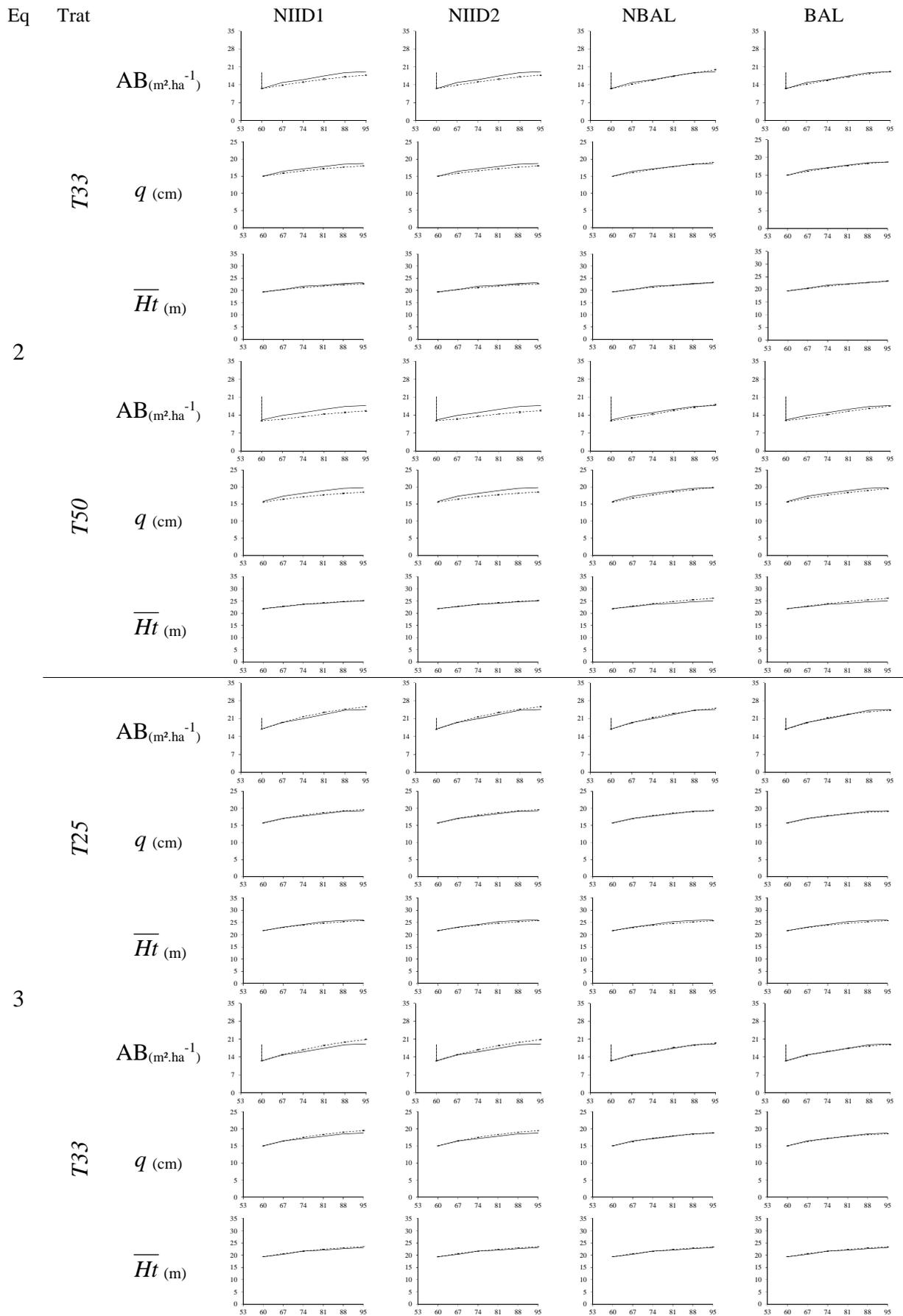
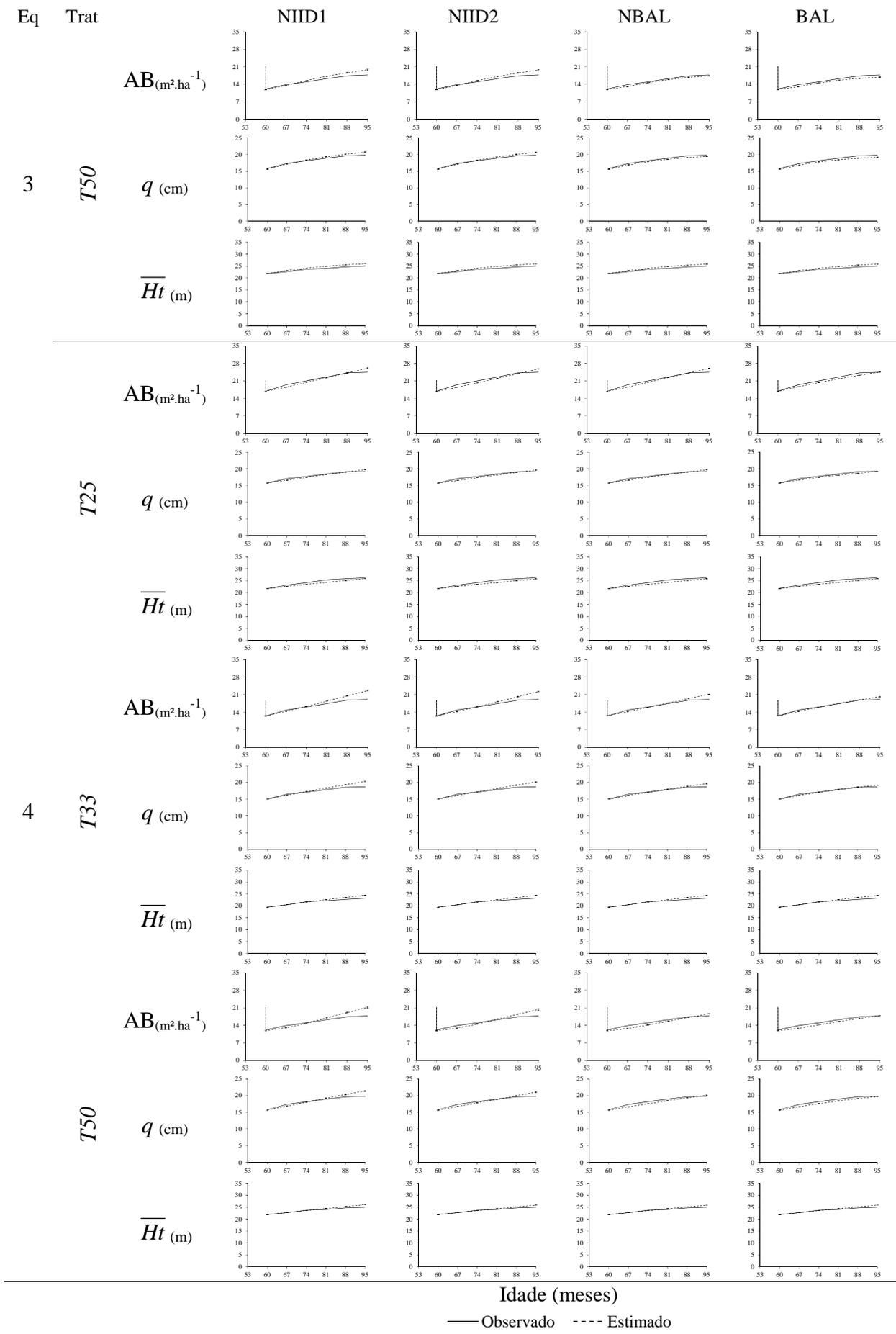


Figura 3.5, continua...



Idade (meses)

— Observado - - - Estimado

Figura 3.5 – Comparação entre os valores observados e estimados das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário A com dados de $T25$, $T33$ e $T50$ pré-desbaste.

em que: Eq = equação, Trat = tratamentos de desbaste, AB = área basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$), q = diâmetro médio (cm), \overline{Ht} = média de altura total (m).

As estimativas obtidas a partir das simulações do Cenário B são apresentadas nos gráficos da Figura 3.6, com os desvios-padrões das 30 simulações em cada idade, em que os valores observados são os resultados reais obtidos nos respectivos tratamentos. Os gráficos mostram que as variáveis de povoamento estimadas apresentaram as mesmas tendências dos dados observados, indicando a eficiência dos índices e equações em captar o efeito dos desbastes.

Ao realizar desbastes aleatórios de 25%, 33% e 50% do número de indivíduos aos dados da testemunha, os modelos e índices de competição foram sensíveis à redução da competição e conseguiram estimar satisfatoriamente as variáveis de povoamento avaliadas (Figura 3.6).

Nas simulações de 25% de desbaste, as estimativas da variável área basal mais próximas aos dados observados foram obtidas utilizando o modelo 3 ajustado com o índice NIID1. Para o diâmetro médio, a combinação que proporcionou as melhores estimativas foi o modelo 3 ajustado com o BAL. Para a média da altura total, a melhor combinação foi do modelo 2 ajustado com NBAL, sendo semelhante aos resultados do modelo 3 ajustado com NIID1. Considerando todas as variáveis, a combinação que proporcionou as estimativas mais próximas aos dados observados no $T25$ real foi o modelo 3 quando ajustado com o índice de competição NIID1 (Figura 3.6).

Nas simulações de 33% de desbaste nos dados de $T0$ (Figura 3.6) as estimativas da área basal e do diâmetro médio mais similares aos dados do $T33$ real foram obtidas com o modelo 2 ajustado com o índice NIID1. Já para a altura total, a melhor combinação foi do modelo 4 com o NIID2. Considerando todas as variáveis, as estimativas mais próximas aos dados observados no $T33$ real foram obtidas com modelo 2 associado ao índice de competição NIID1, seguido por este mesmo modelo ajustado com NIID2.

Ainda considerando o cenário B, as simulações de 50% de desbaste nos dados tratamento testemunha mostraram que as estimativas da área basal obtidas com o modelo 3 combinado com NIID2 foram mais similares aos dados observados em $T50$. Para o diâmetro médio, as estimativas mais próximas ao observado foram obtidas com o modelo 3 ajustado

com o NBAL. Para a altura total, a melhor combinação foi do modelo 2 ajustado com NIID2. De forma global, a equação que proporcionou as estimativas mais similares aos dados observados em *T50* foi a oriunda do modelo 3 ajustada com NIID2 (Figura 3.6).

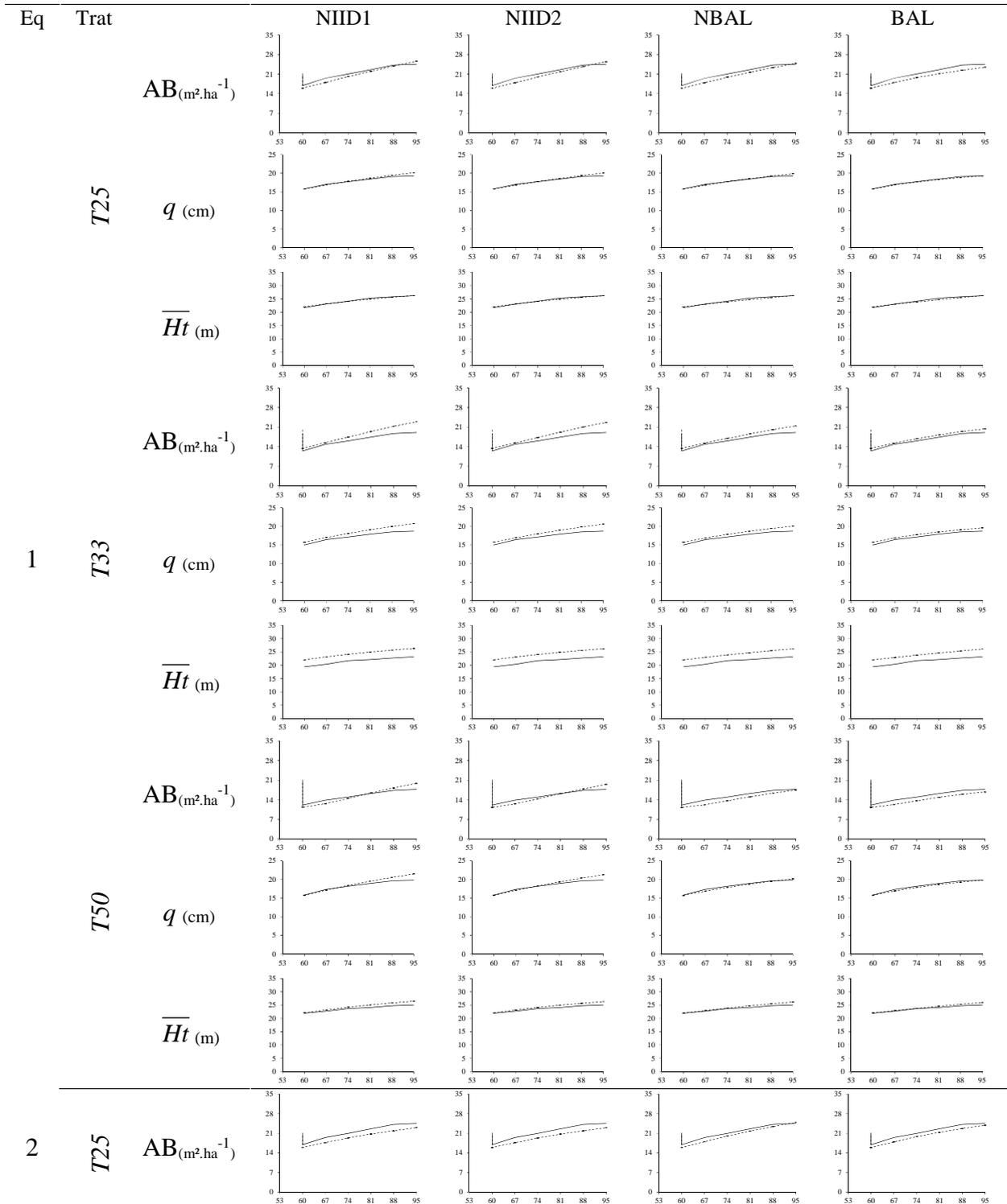


Figura 3.6, continua...

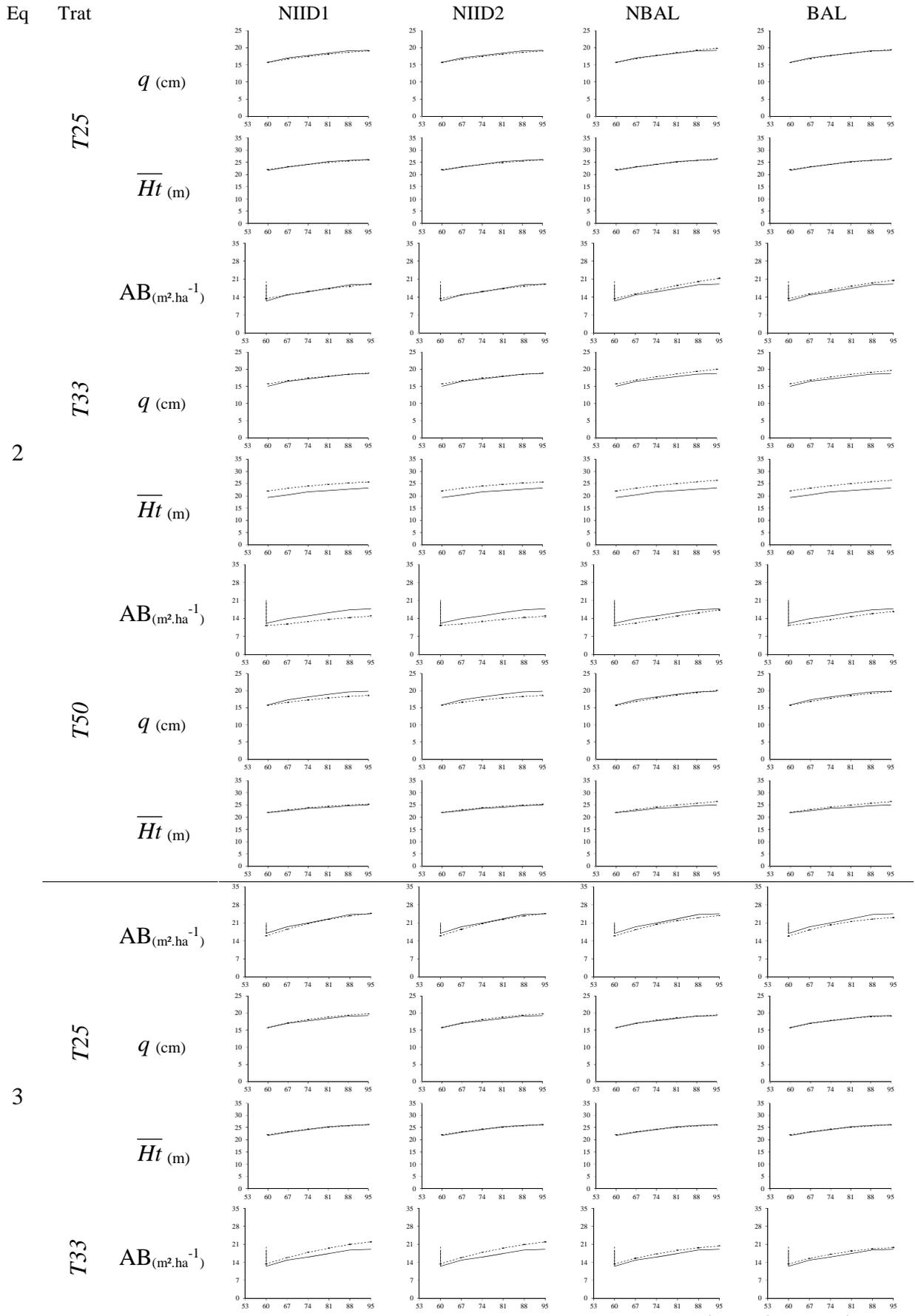


Figura 3.6, continua...

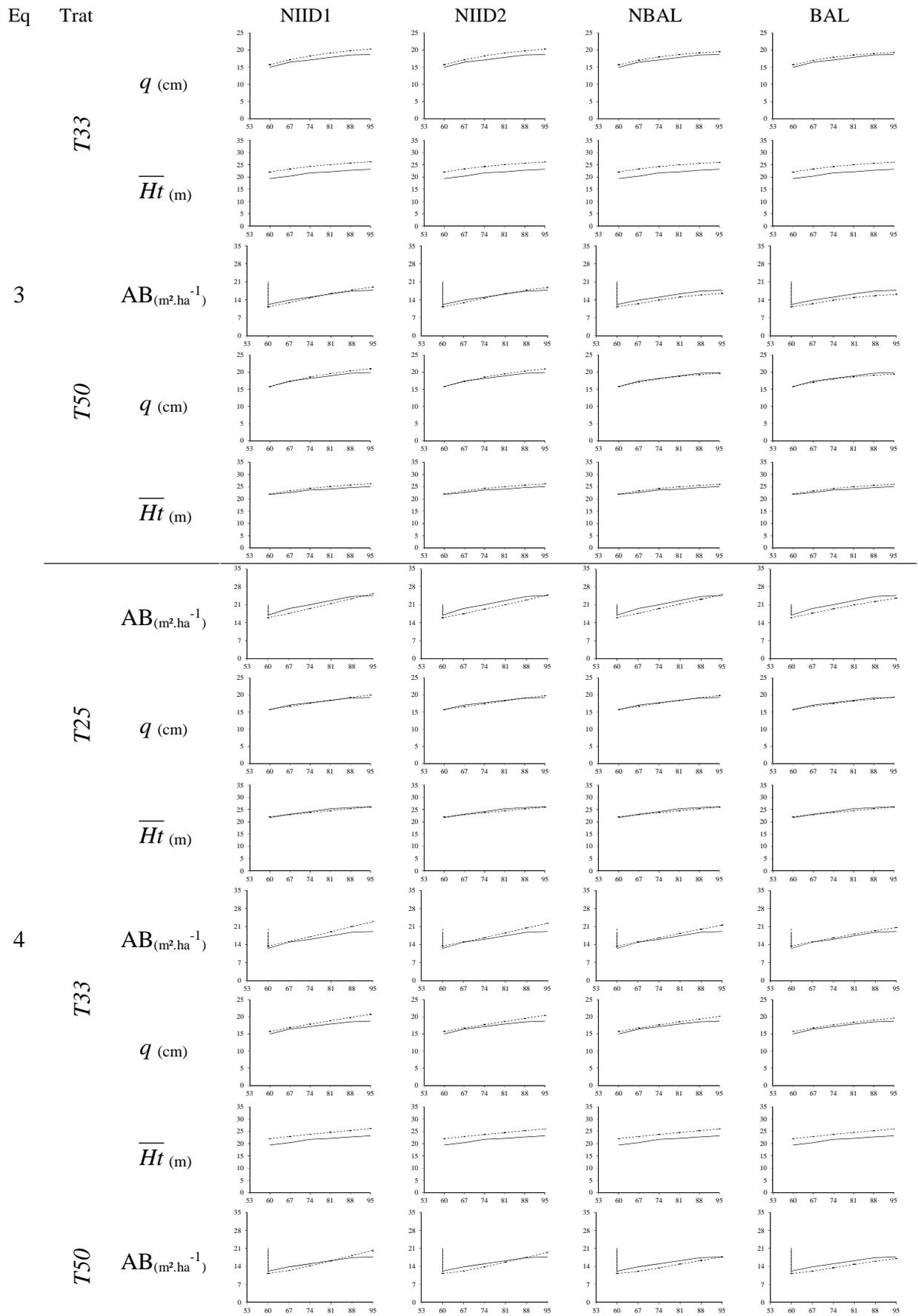


Figura 3.6, continua...

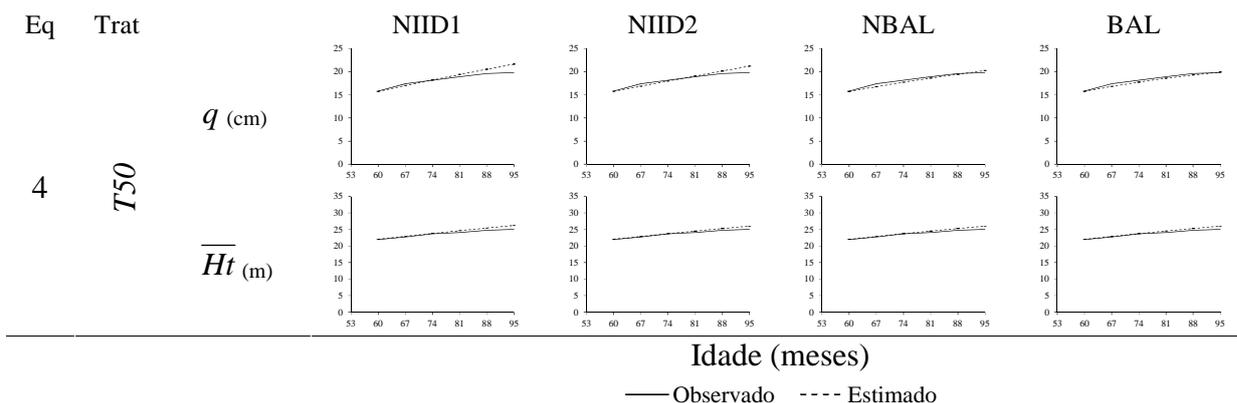


Figura 3.6 – Comparação entre os valores observados e estimados das variáveis de povoamento nas simulações de desbaste realizadas no cenário B com dados de T0.

em que: Eq = equação, Trat = tratamentos de desbaste, AB = área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), q = diâmetro médio (cm), \overline{Ht} = média de altura total (m).

Os gráficos contendo as projeções das variáveis de povoamento até os 95 meses de idade, conforme cenário C, são apresentados na Figura 3.7. As estimativas foram comparadas aos dados observados em cada tratamento e permitem constatar quais equações e índices de competição foram mais eficientes na projeção das variáveis de povoamento.

Para o tratamento testemunha as estimativas mais precisas de área basal e do diâmetro médio foram obtidas com o modelo 1 ajustado com o índice BAL. A altura total foi melhor projetada através do modelo 2 ajustado com o índice NIID2. Com base nas estimativas de todas as variáveis, o modelo 3 associado ao índice BAL apresentou as melhores projeções.

Os gráficos do tratamento T25 mostram que as estimativas mais precisas de área basal e do diâmetro médio foram obtidas com o modelo 3 ajustado com o índice BAL. Já para a altura total o modelo 3 ajustado com o índice NIID1 proporcionou as melhores estimativas. Baseado em todas as estimativas para este tratamento, o modelo 3 associado ao índice BAL apresentou as melhores projeções das variáveis.

Para o tratamento T33 as estimativas mais precisas de área basal, diâmetro médio e altura total foram obtidas com o modelo 3 associado ao índice NBAL, em segundo ficou este mesmo modelo ajustado com BAL.

Os gráficos do tratamento T50 relacionados ao cenário C evidenciam que as estimativas de área basal e do diâmetro médio foram mais precisas com o modelo 3 ajustado com o índice NBAL. Já para a altura total o modelo 2 ajustado com o índice NIID2 foi o que proporcionou os melhores resultados. De forma global, as variáveis de povoamento deste tratamento foram melhor projetadas pelo modelo 3 quando ajustado com o índice NBAL (Figura 3.7).

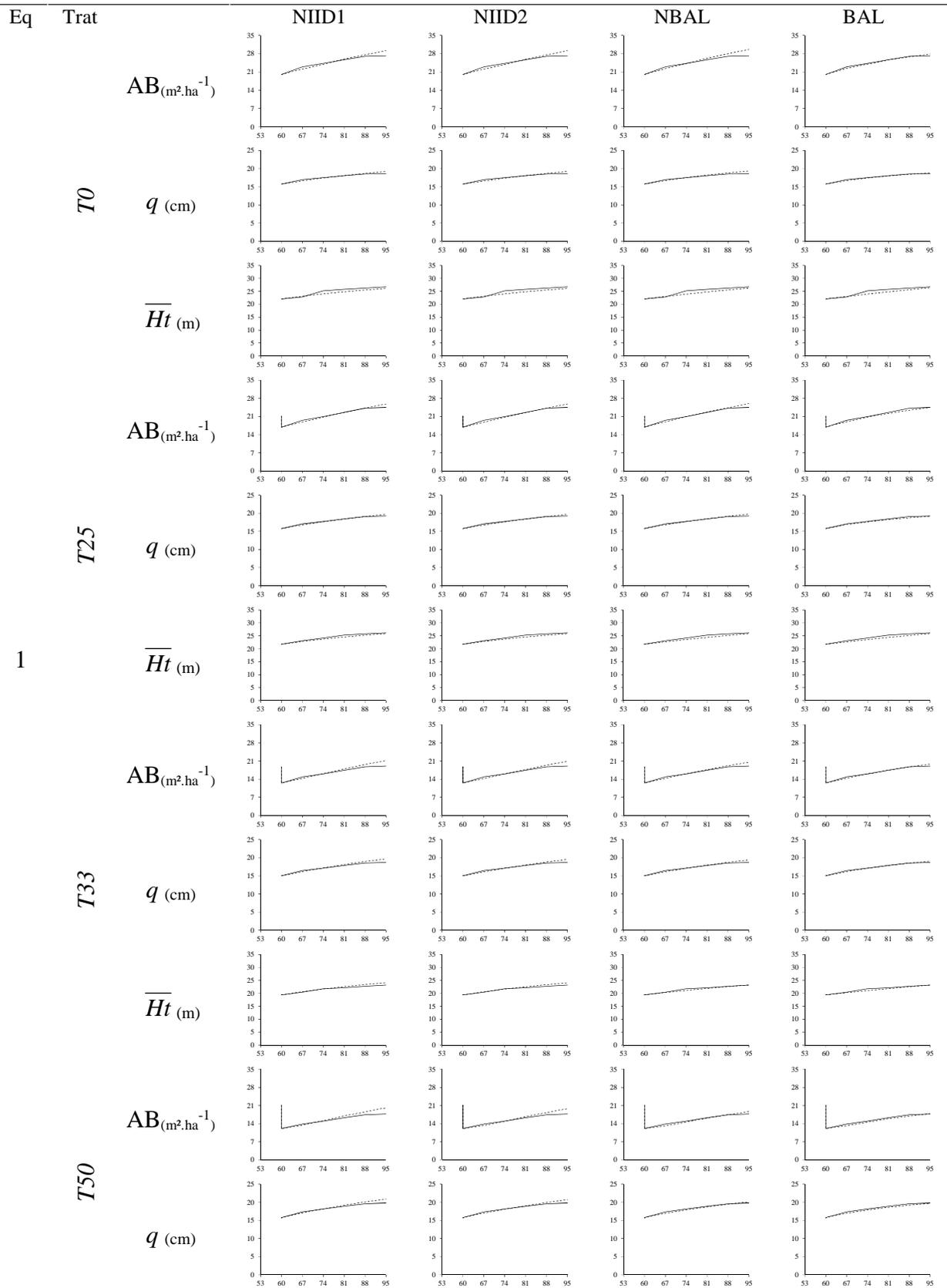


Figura 3.7, continua...

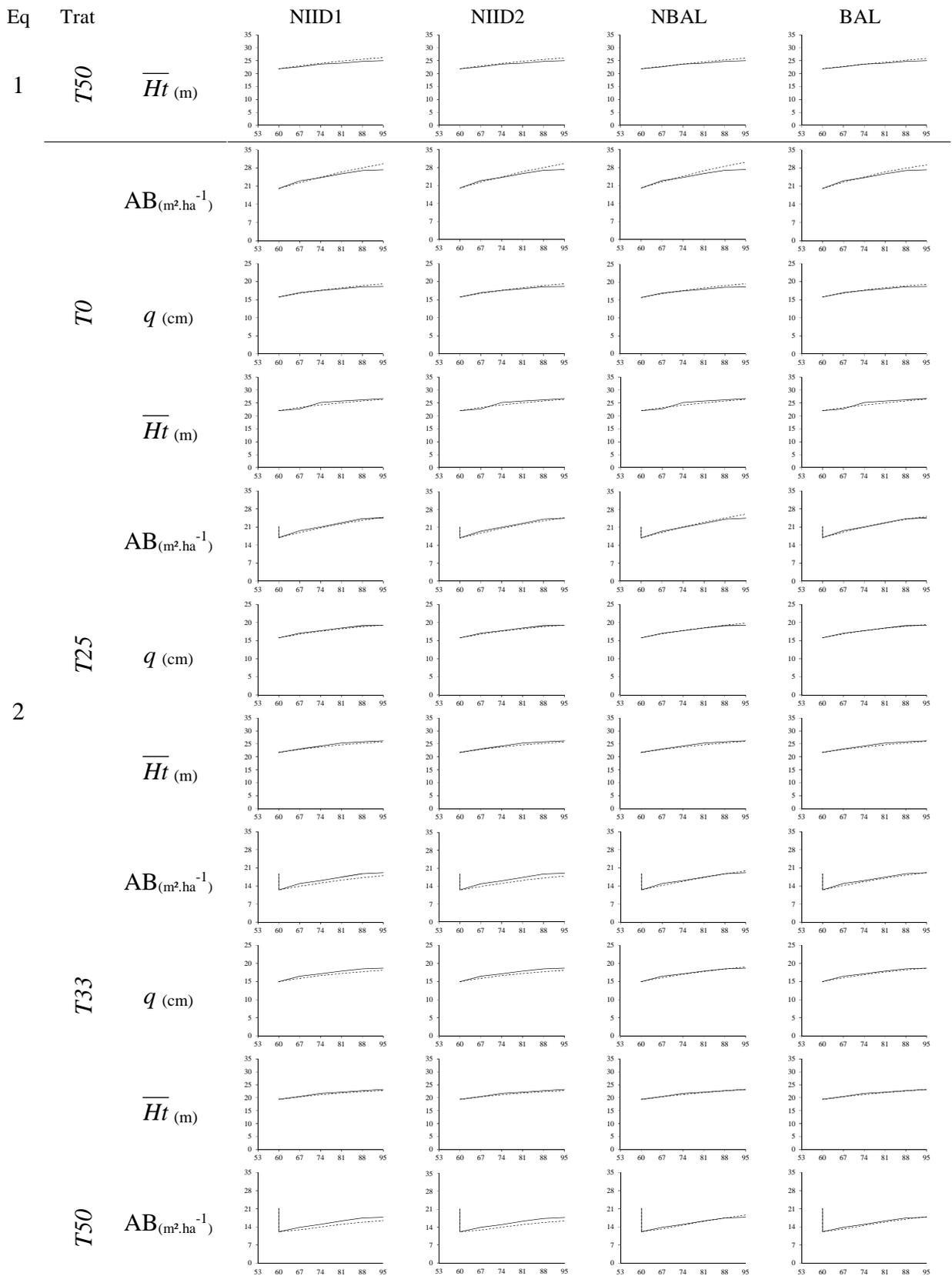


Figura 3.7, continua...

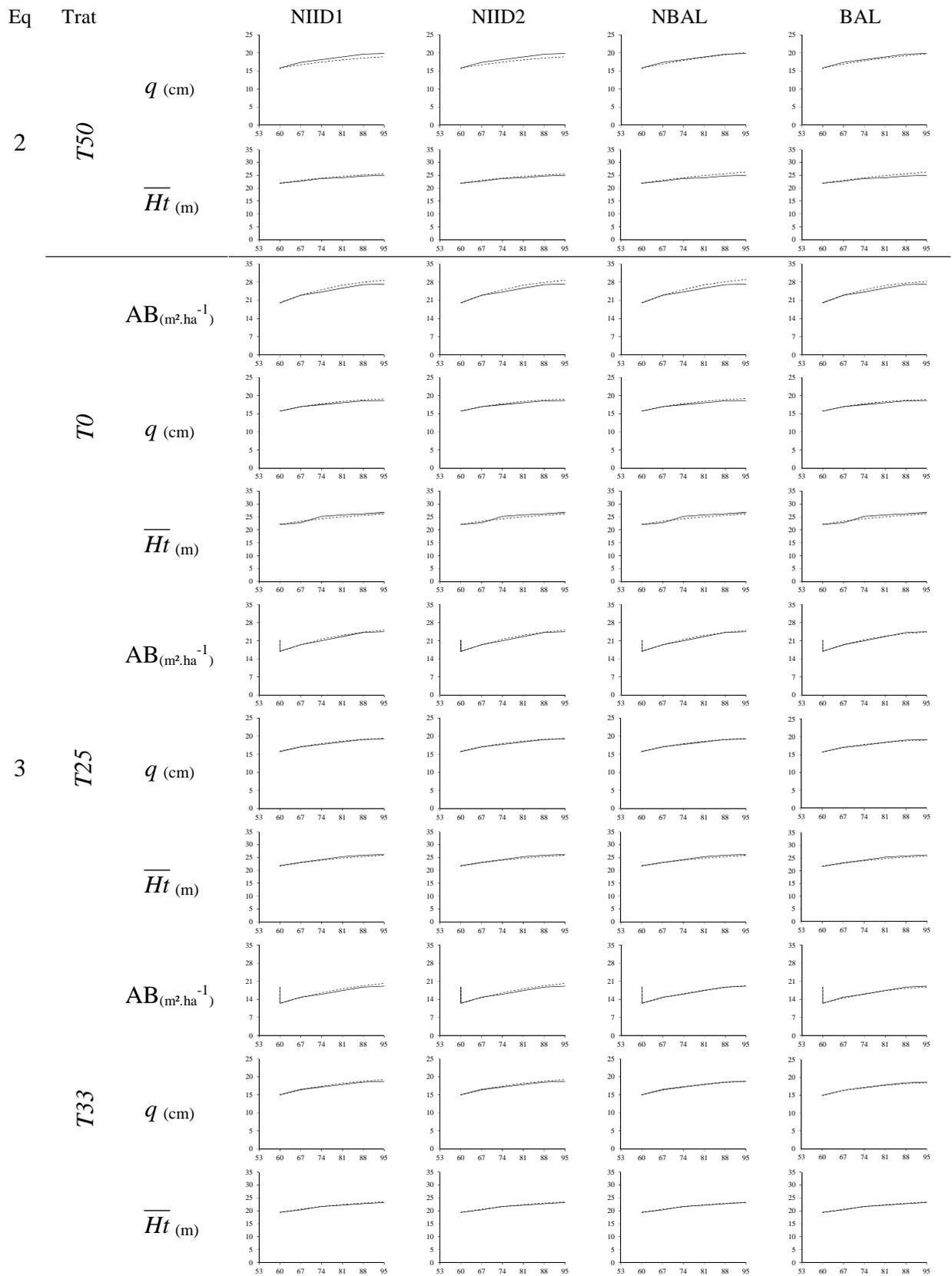


Figura 3.7, continua...

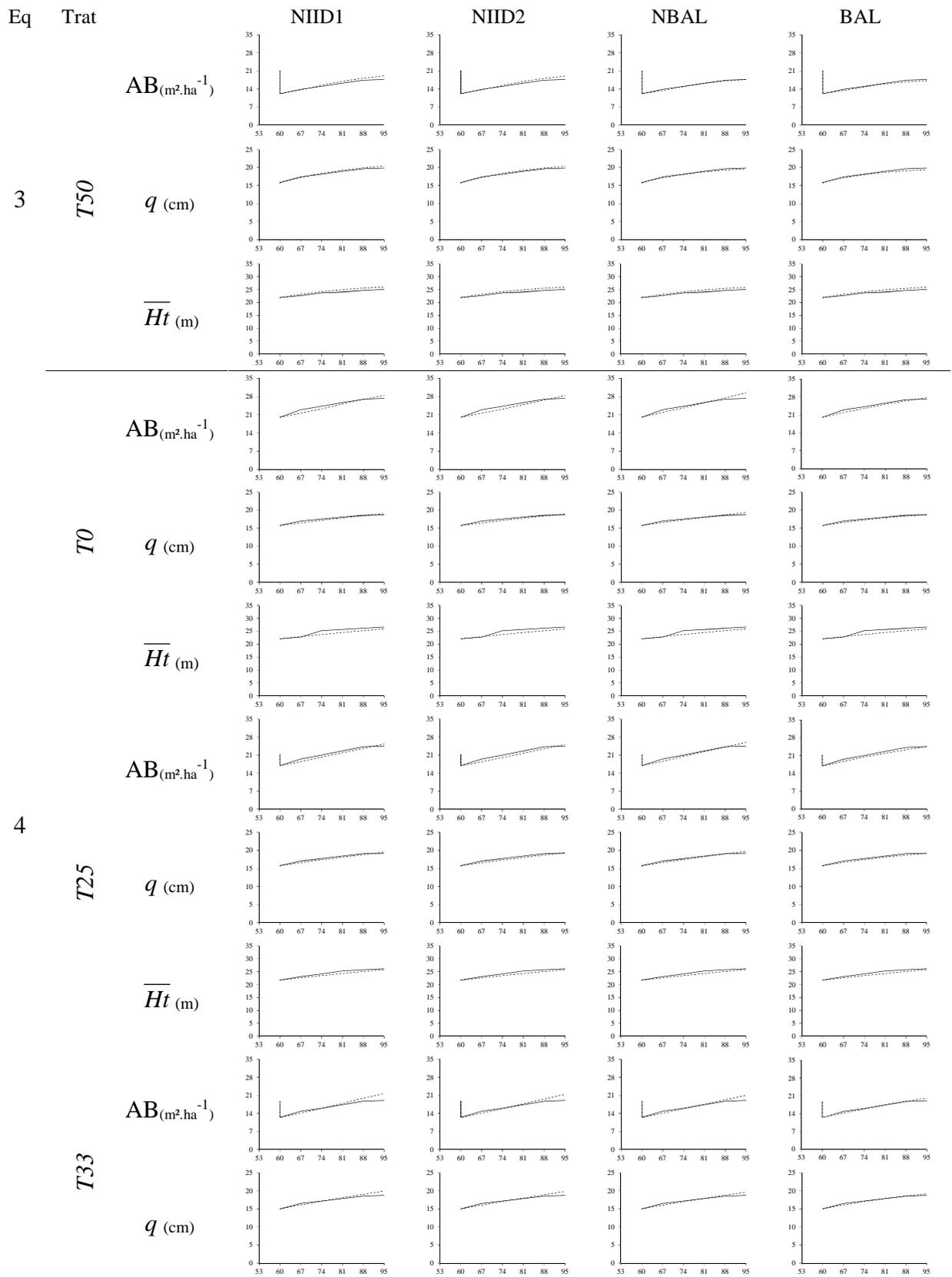


Figura 3.7, continua...

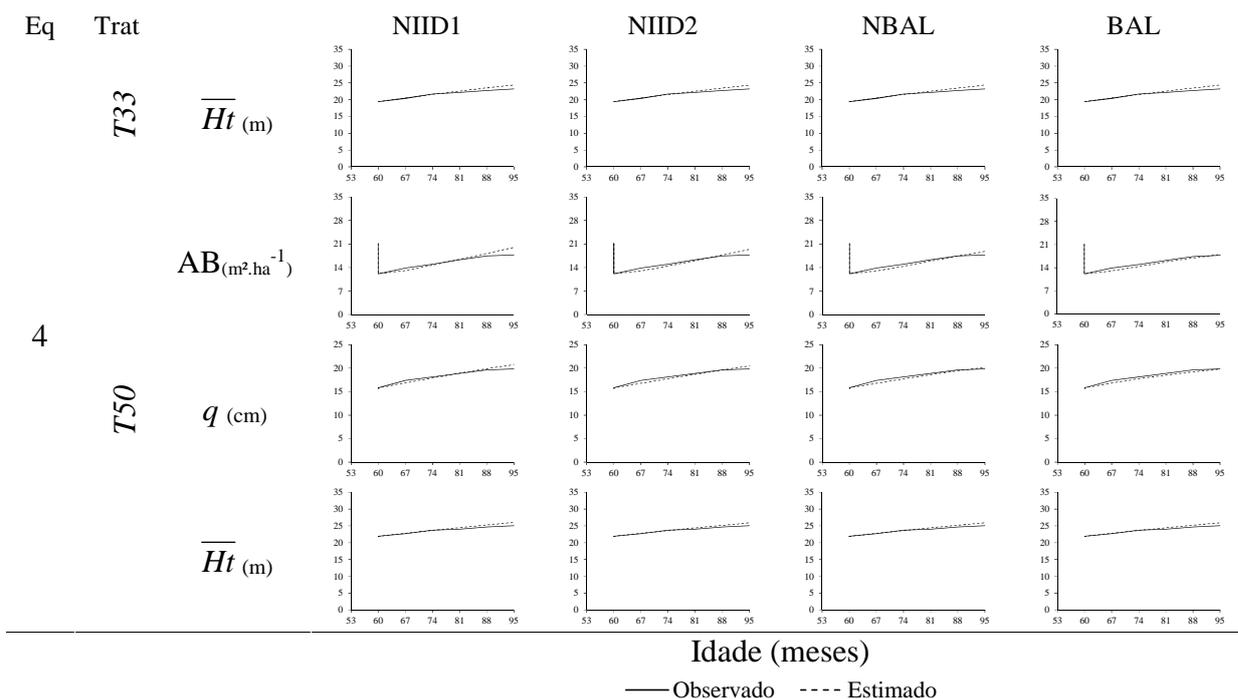


Figura 3.7 – Projeção das variáveis de povoamento através das equações ajustadas e comparação entre os valores observados e estimados considerando o cenário C.

em que: Eq = equação, Trat = tratamentos de desbaste, AB = área basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$), q = diâmetro médio (cm), \overline{Ht} = média de altura total (m).

A projeção do crescimento diamétrico estimado pelos modelos em nível de árvore individual para árvores pequenas, médias e grandes, localizadas no interior e na borda do talhão, são apresentadas nas Figuras 3.8 e 3.9, respectivamente.

Analisando estas figuras, pode-se perceber que os resultados foram satisfatórios, principalmente devido ao nível de resolução dessas informações. As equações proporcionaram estimativas diamétricas precisas, tanto para árvores do interior quanto para as localizadas na borda do talhão, indicando que os índices conseguem expressar os diferentes níveis de competição a que os indivíduos estão submetidos em um povoamento. O modelo 3 foi o mais eficiente em projetar o crescimento diamétrico nas duas situações quando ajustado aos índices de competição BAL e NBAL.

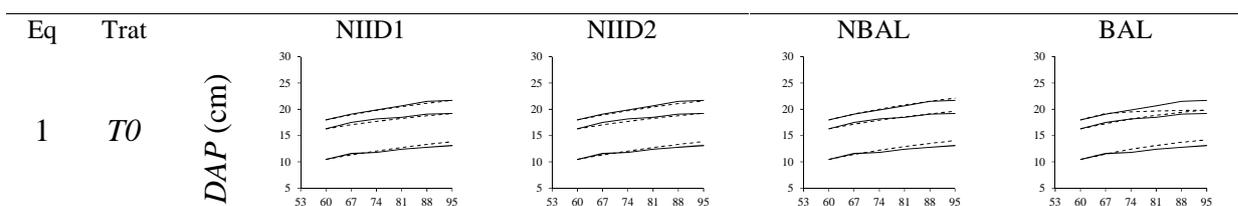


Figura 3.8, continua...

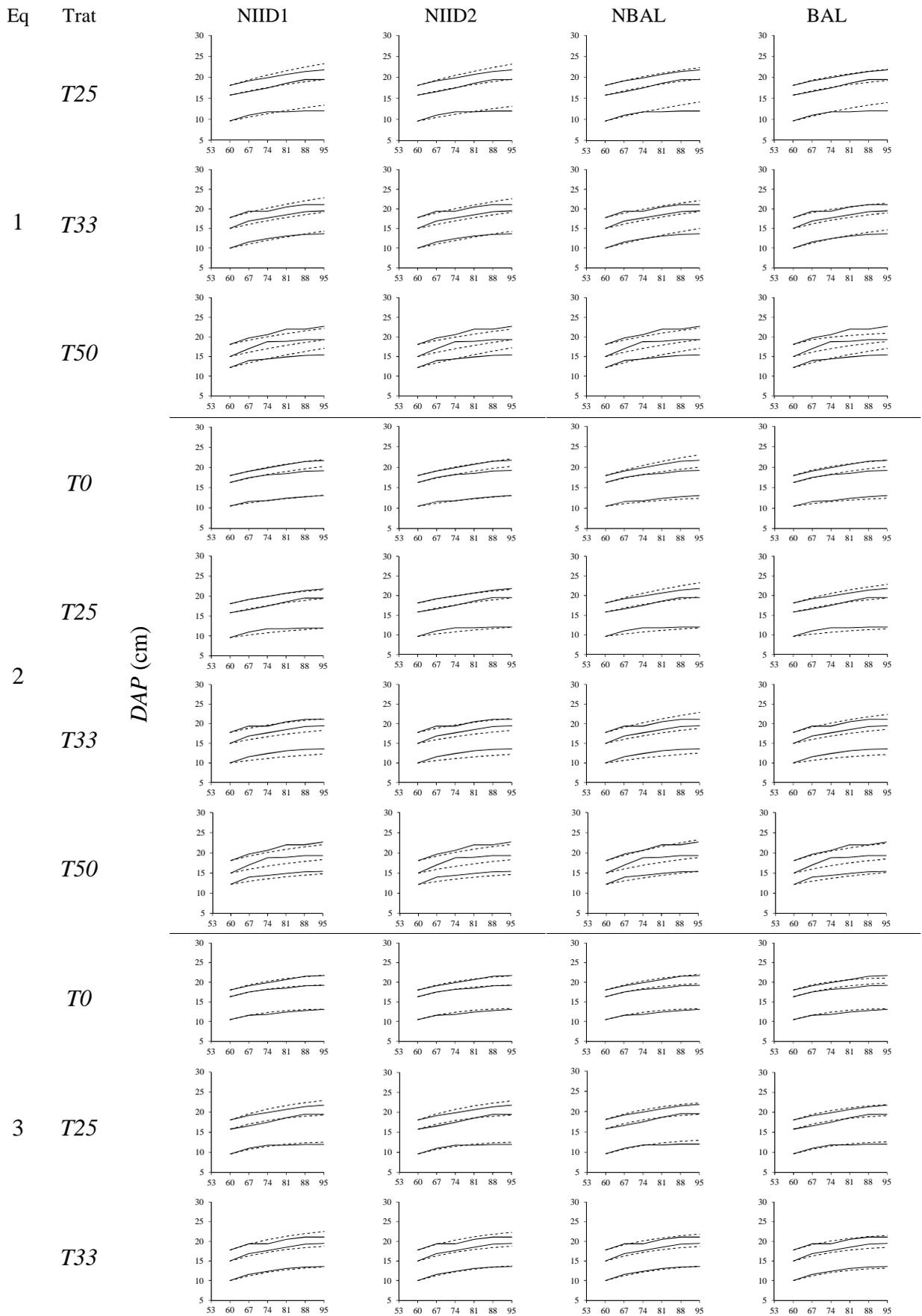


Figura 3.8, continua...

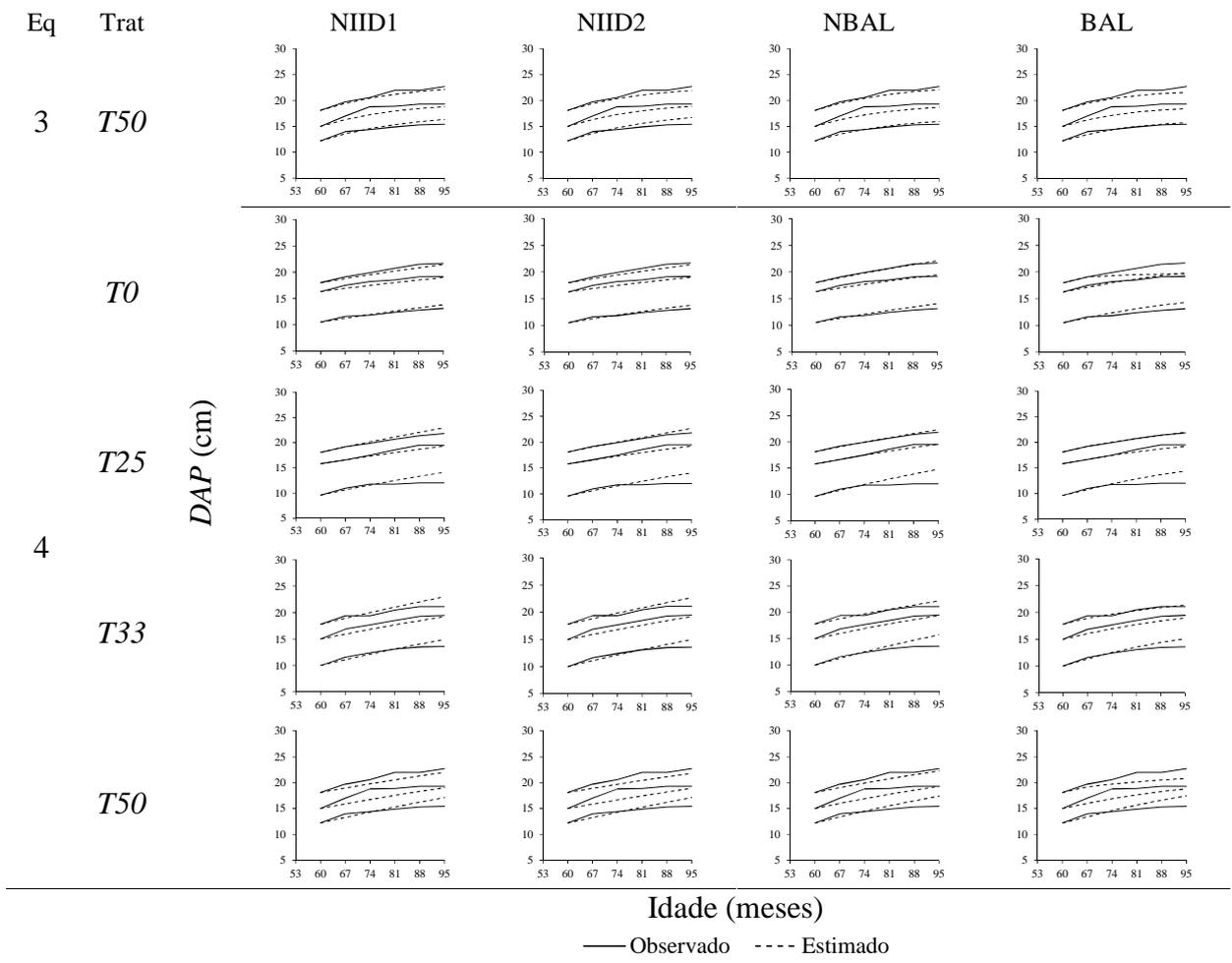


Figura 3.8 – Comparação entre o crescimento diamétrico observado e estimado para árvores pequenas, médias e grandes, localizadas no interior do talhão para cada tratamento e índice de competição.

em que: Eq = equação, Trat = tratamentos de desbaste.

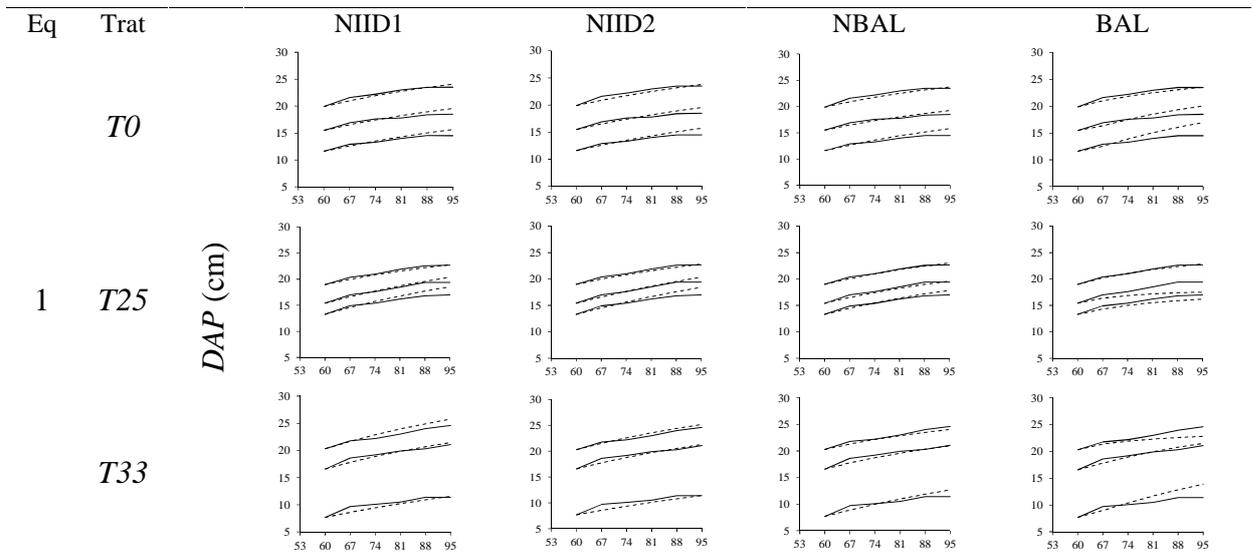


Figura 3.9, continua...

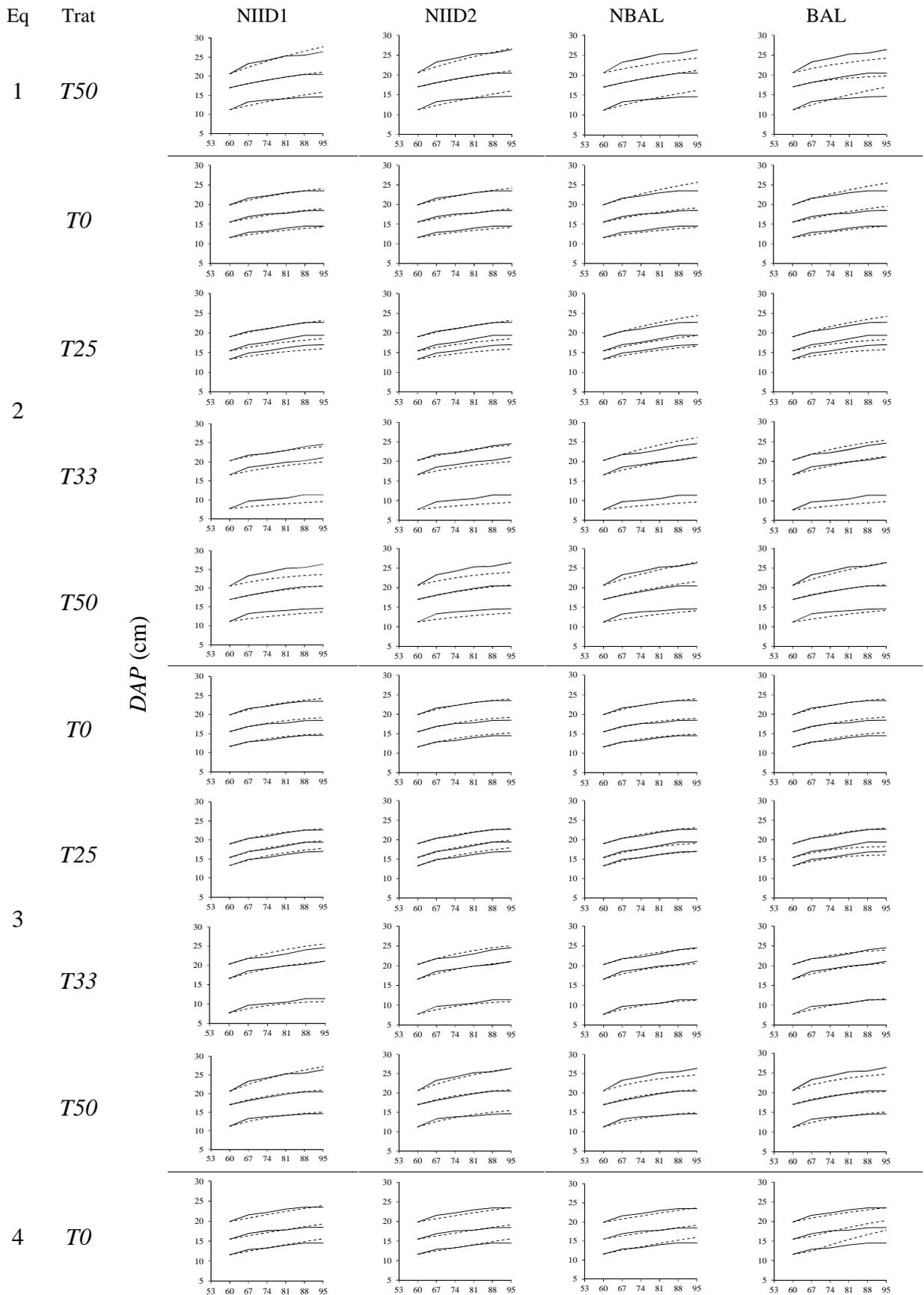


Figura 3.9, continua...

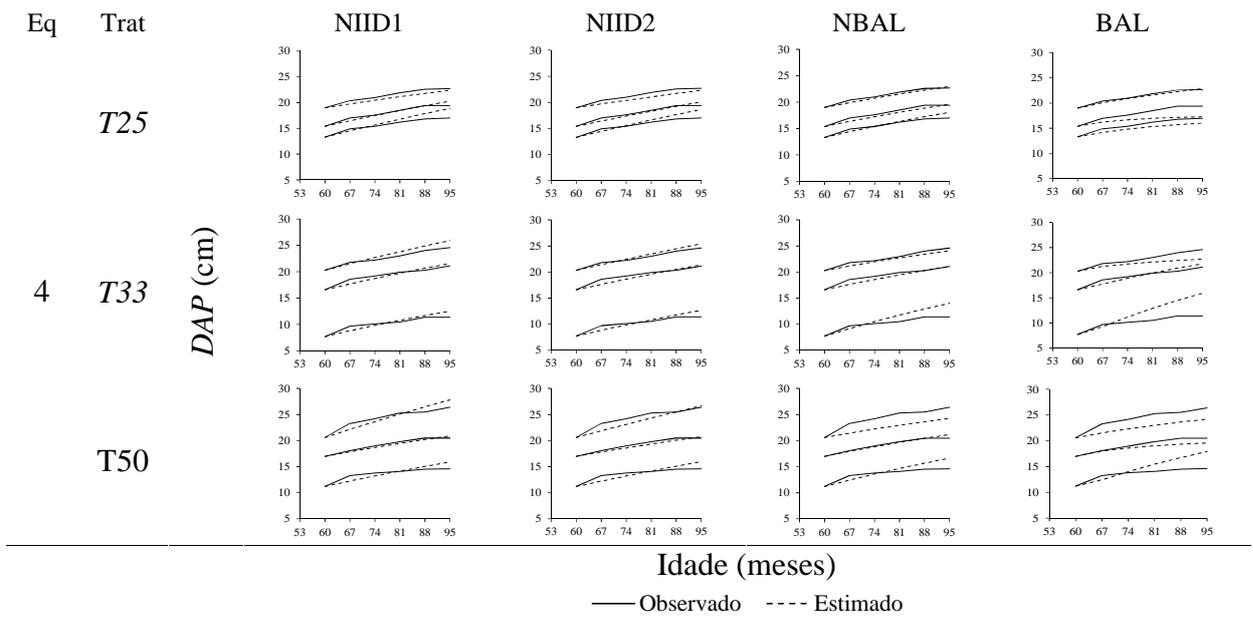


Figura 3.9 – Comparação entre o crescimento diamétrico observado e estimado para árvores pequenas, médias e grandes, localizadas na borda do talhão, para cada tratamento e índice de competição.

em que: Eq = equação, Trat = tratamentos de desbaste.

Uma vez obtidas as equações oriundas do modelo 3 ajustadas com NBAL e BAL, foi possível simular diferentes intensidades de desbaste. A Figura 3.10 apresenta o comportamento das variáveis área basal, diâmetro médio e a média da altura total estimadas para o povoamento ao simular o aumento gradativo em 5% de desbaste desde zero até 50%. Os valores correspondem à média de 30 simulações.

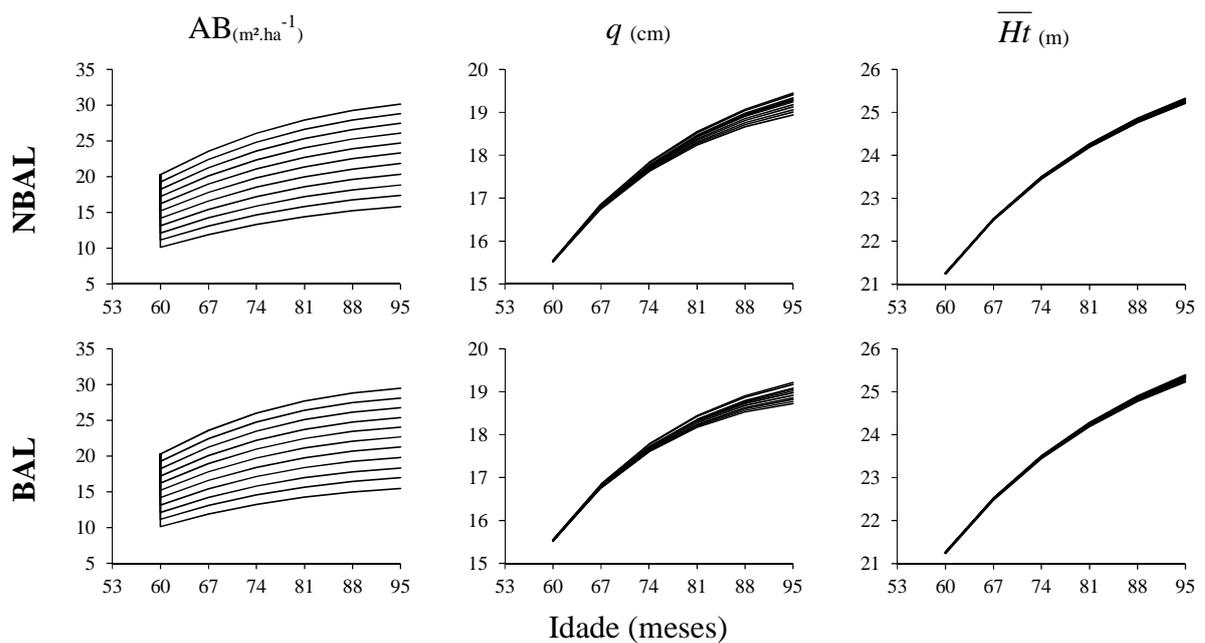


Figura 3.10 – Estimativas das variáveis área basal (AB), diâmetro médio (q) e média da altura

total (\overline{Ht}) em simulações de diferentes intensidades de desbaste.

Ao aumentar a intensidade de desbaste constatou-se, para ambas as equações aos 95 meses, tendência de redução da área basal, aumento do diâmetro médio e discreta redução da altura total (diferença de 0,13 m). Estes resultados são estatística e biologicamente consistentes e confirmam a eficiência das equações obtidas.

3.4 – DISCUSSÃO

Normalmente obter boas equações para projetar o crescimento dimensional em diâmetro e em altura total de árvores individuais não é uma tarefa difícil. Numerosos estudos já foram realizados e obtiveram modelos eficientes para prever o crescimento diamétrico e em altura total (KIERNA et al., 2008; WEISKITTEL et al., 2009; CRECENTE-CAMPO et al., 2010; VOSPERNIK et al., 2010; LHOTKA e LOEWENSTEIN, 2011; SUBEDI e SHARMA, 2011; MARTINS et al., 2014; HAN et al., 2016; LHOTKA, 2017).

A complexidade da modelagem do crescimento está fortemente relacionada à heterogeneidade do povoamento, sendo o desbaste uma atividade que condiciona o desenvolvimento das árvores aos níveis de redução da competição (tratamentos), podendo em algumas situações, resultar em maior variabilidade dos dados e, conseqüentemente, dificultar a modelagem.

Os modelos testados foram bem sucedidos na explicação do crescimento diamétrico e em altura total de árvores individuais (Tabela 3.4 e Figuras 3.2, 3.3 e 3.4). Martins et al. (2014) modelaram o crescimento de árvores individuais de *Eucalyptus* por classe de produtividade e obtiveram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho.

A superestimação dos diâmetros para árvores menores registrada neste estudo também foi apontada nos trabalhos de Mette et al. (2009), Härkönen et al. (2010) e Martins et al. (2014). Vospernik et al. (2010) relatam que a ocorrência dessas tendências são comuns e difíceis de serem explicadas. Embora para plantio experimental desbastado, as estatísticas de qualidade obtidas no ajuste dos modelos para o diâmetro foram semelhantes às encontradas por Sánchez-González et al. (2006), Vospernik et al. (2010) e Martins et al. (2014).

Os modelos apresentaram certa imprecisão para estimar a altura total de árvores menores, sendo constatada superestimação (Figuras 3.2 e 3.3). No trabalho de Filipescu e Comeau (2007), essa tendência também foi observada. Já Martins et al. (2014) relatam

dificuldades para estimar o crescimento em altura de árvores menores e maiores. Vospernik et al. (2010) explicam que a altura, por ser mais complexa de ser mensurada, é obtida indiretamente através de equações hipsométricas que contêm imprecisões intrínsecas, dificultando a modelagem. As estatísticas de qualidade encontradas no ajuste dos modelos para altura se assemelharam às encontradas por Mabvurira e Miina (2002) e Vospernik et al. (2010).

Neste estudo o modelo 3 (Linear) foi superior aos demais, proporcionando estimativas precisas para o crescimento em diâmetro e altura. As variáveis incluídas neste modelo foram o tamanho da árvore (diâmetro e altura), idade corrente (I_1), idade futura (I_2) e índice de competição (IC) em substituição ao índice de local. Martins et al. (2014), selecionaram o modelo 1 para estimar o crescimento em diâmetro e altura de árvores individuais de eucalipto não desbastados. Eles relatam que os modelos 2 (Schumacher) e 3 (Linear) estimaram razoavelmente o crescimento em diâmetro, porém não conseguiram gerar estimativas precisas para o crescimento em altura.

Os resultados das simulações (Tabelas 3.5, 3.6, 3.7 e Figuras 3.5, 3.6, 3.7) indicam que todas as equações captaram o efeito das diferentes intensidades de desbaste e conseguiram estimar satisfatoriamente as variáveis de povoamento em todos os cenários. A eficiência das estimativas está vinculada aos índices de competição que utilizam informações espaciais das árvores individuais (exceto o BAL, que não depende de informações espaciais), para examinar o ambiente competitivo ao qual estão submetidas, dando maior flexibilidade aos modelos para explicar a variação do crescimento das árvores devido à redução da competição proporcionada pelo desbaste. Quando se compara os índices de competição, o BAL e o NBAL se destacaram devido à nítida superioridade em relação aos demais, permitindo simular eficientemente diversas intensidades de desbaste (Figura 3.10).

Lhotka (2017) relata que a inclusão do BAL e/ou suas adaptações têm sido utilizadas em muitos estudos de crescimento realizados em várias partes do mundo. Monserud e Sterba (1996) enfatizam que o BAL é uma variável que apresenta bom comportamento sob todos os tipos de desbastes. Para Ledermann e Eckmüllner (2004), o BAL representa o ranking social de uma árvore dentro de um povoamento florestal e, portanto, é frequentemente usado para modelagens de crescimento e análises de resposta ao crescimento.

No ambiente de simulação, constatou-se algumas limitações ao se utilizar NIID1 e NIID2. Estes índices não podem ser calculados caso as 24 árvores competidoras sejam desbastadas, pois a variável AB_{24} se iguala a zero, resultando em uma indeterminação

matemática. Observou-se também, que quando o desbaste é muito intenso nas 24 árvores competidoras, restando uma ou poucas árvores remanescentes, o cálculo destes índices retorna valores muito altos, resultando em estimativas incoerentes em termos biológicos. Na prática são situações incomuns, sendo que sua ocorrência dependerá da implantação de desbastes excessivos, que não são indicados, pois comprometem o potencial produtivo das áreas.

As estimativas do diâmetro ao nível de árvore individual (Figuras 3.8 e 3.9) foram satisfatórias. Para Cao (2006), obter estimativas precisas ao nível de árvore individual não é uma tarefa simples, porque a alta resolução das informações deste tipo de modelagem pode acarretar problemas causados por erros cumulativos, e estes, se tornam ainda mais discrepante à medida que se aumenta o número de intervalos de projeção. Neste estudo, nota-se que as estimativas diamétricas de árvores individuais aos 95 meses foram satisfatórias na maioria das observações.

Roberts e Harrington (2008) comentam que a bordadura influencia significativamente o crescimento das árvores, sendo que, os indivíduos localizados na borda aproveitam o espaço disponível e crescem mais. Esses autores relatam ainda que a falta de conhecimento sobre as diferenças nas taxas de crescimento das árvores de borda torna mais difícil determinar se as prescrições silviculturais cumprem seus objetivos no povoamento a longo prazo. Os resultados apresentados neste estudo, Figuras 3.8 e 3.9, mostram que os métodos empregados permitem estimar eficientemente o crescimento de árvores localizadas na bordadura e no interior do talhão, além de permitir a projeção do crescimento a idades mais avançadas, podendo ser utilizado para avaliar o efeito de diferentes intensidades de desbastes no crescimento das árvores.

Modelos que descrevem as relações de crescimento são fundamentais para a evolução das práticas de gerenciamento florestal, pois conhecer os padrões que afetam o crescimento do povoamento e de árvores individuais é fundamental para desenvolver, avaliar e aperfeiçoar as práticas silviculturais (LHOTKA, 2017), e a modelagem em nível de árvore individual permite alcançar estes objetivos.

Os resultados apresentados neste estudo mostram que é viável projetar o crescimento de árvores individuais de eucalipto desbastado, tendo como principal vantagem o nível de detalhamento das informações, que facilita a tomada de decisões no gerenciamento da floresta. A metodologia aqui apresentada permitirá ao manejador florestal determinar o nível de competição em que as árvores remanescentes ao desbaste serão submetidas e prognose do crescimento determinará o tempo necessário para que os indivíduos tenham as dimensões

necessárias para obtenção de determinado produto, facilitando o planejamento florestal.

3.5 – CONCLUSÕES

Dentre os modelos avaliados, o Linear (modelo 3) estima de forma mais precisa o crescimento em diâmetro e altura total de árvores individuais do povoamento desbastado de eucalipto, apresentando estimativas eficientes nas diversas simulações de desbaste avaliadas.

Os índices de competição testados captam o efeito das diferentes intensidades de desbastes permitindo obter resultados biologicamente consistentes com a redução da competição.

Os índices BAL e NBAL permitem a obtenção de estimativas mais precisas e resultados estatisticamente consistentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

AMARO, A.; REED, D.; TOMÉ, M.; THEMIDO, I. Modeling dominant height growth eucalyptus plantations in Portugal. **Forest Science**, Bethesda, v. 44, n. 1, p. 37-46, 1998.

ANDREASSEN, K.; TOMTER, S. M. Basal area growth models for individual trees of Norway spruce, Scots pine, birch and broadleaves in Norway. **Forest Ecology and Management**, v. 180, n. 1, p. 11-24, 2003.

BELLA, I. E. A new competition model for individual tree. **Forest Science**, Washington, v. 17, n. 3, p. 364-372, 1971.

BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M. Prognose em nível de povoamento de clones de eucalipto empregando redes neurais artificiais. **Cerne** v.21, n.1, p.97-105, 2015.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling forest trees and stands**. Dordrecht: Springer, 457 p. 2012.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas**. 5ª ed. Viçosa: UFV, 2017. 636 p.

CAO, Q. V. Predictions of individual tree and whole stands attributes for loblolly pine plantations. **Forest Ecology and Management**. v.236, p.342-347, 2006.

CRECENTE-CAMPO, F.; SOARES, P.; TOMÉ, M.; DIÉGUEZ-ARANDA, ULISES. Modelling annual individual-tree growth and mortality of Scots pine with data obtained at irregular measurement intervals and containing missing observations. **Forest Ecology and Management**. v.260, p.1965–1974, 2010.

CURTIS, R. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. **Forest Science**, Lawrence, v.13, n.4, p.365-375, 1967.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. New York: McGraw-Hill, 3. ed., 1987. 790 p.

DIAS, A. N. LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos de eucalipto desbastados. **Revista Árvore**, v. 29, n.5, p. 731-739, 2005.

FILIPESCU, C. N.; COMEAU, P. G. Competitive interactions between aspen and white spruce vary with stand age in boreal mixedwoods. **Forest Ecology and Management**. v.247, p.175-184. 2007.

FORRESTER, D. I.; COLLOPYA, J. J.; BEADLE, C. L.; BAKER, T. G. Interactive effects

of simultaneously applied thinning, pruning and fertiliser application treatments on growth, biomass production and crown architecture in a young *Eucalyptus nitens* plantation. **Forest Ecology and Management**. V. 267, n.1 p.104-116, 2012.

FORRESTER, D. I.; MEDHURST, J. L.; WOOD, M.; BEADLE, C. L.; VALENCIA, J. CARLOS. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: An Australian perspective. **Forest Ecology and Management**. V. 259, n. 15, p. 1819-1835, 2010.

FOX, J. C.; BI, H.; ADES, P. K. Spatial dependence and individual-tree growth models I. Characterising spatial dependence. **Forest Ecology and Management**, v. 245, n. 1, p. 10-19, 2007.

HAN, Y.; WU, B.; WANG, K; GUO, E.; DONG, C.; WANG, Z. Individual-tree form growth models of visualization simulation for managed *Larix principis-rupprechtii* plantation. **Computers and Electronics in Agriculture**. v.123, p.341–350, 2016.

HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: M. N. PINTO (Ed.); **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília - DF: Editora Universidade de Brasília, p. 309–330, 1990.

HÄRKÖNEM, S.; MÄKINEN, A.; TOKOLA, T.; RASINMÄKI, J.; KALLIOVIRTA, J. Evaluation of forest growth simulators with NFI permanent sample plot data from Finland. **Forest Ecology and Management**. v.259, p.573–582, 2010.

HAWTHORNE, S. N. D.; LANE, P. N. J.; BREN, L. J.; SIMS, N. C. The long term effects of thinning treatments on vegetation structure and water yield. **Forest Ecology and Management**. n.310, p.983–993. 2013.

KIERNA, D.; BEVILACQUA, E.; NYLAND, R. D.; Individual-tree diameter growth model for sugar maple trees in uneven-aged northern hardwood stands under selection system. **Forest Ecology and Management**. v.256 p.1579–1586, 2008.

LEDERMANN, T.; ECKMÜLLNER, O. A method to attain uniform resolution of the competition variable Basal-Area-in-Larger Trees (BAL) during forest growth projections of small plots. **Ecological Modelling**. v.171, p.195–206, 2004.

LEDERMANN, T. Evaluating the performance of semi-distance-independent competition indices in predicting the basal area growth of individual trees. **Canadian Journal of Forest Research**. v.40, n.4, p.796-805, 2010.

LHOTKA, J. M. Examining growth relationships in *Quercus* stands: An application of individual-tree models developed from long-term thinning experiments. **Forest Ecology and Management**. v.385, p.65–77, 2017.

LHOTKA, J. M.; LOEWENSTEIN, E. F. An individual-tree diameter growth model for managed uneven-aged oak-shortleaf pine stands in the Ozark Highlands of Missouri, USA. **Forest Ecology and Management**. v.261, p.770–778, 2011.

LUSTOSA JUNIOR, I. M. **Competição e modelagem florestal em fragmento de floresta**

estacional semidecidual submontana, MG. 2016. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MABVURIRA, D.; MIINA, J. Individual tree growth and mortality models for *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden plantations in Zimbabwe. **Forest Ecology and Management.** v.161, p. 231-245, 2002.

MACDONALD, E.; GARDINER, B.; MASON, W. The effects of transformation of even-aged stands to continuous cover forestry on conifer log quality and wood properties in the UK. **Forestry,** v. 83, p. 1-16, 2010.

MARTINS, F. B.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Individual tree growth models for eucalyptus in northern Brazil. **Scientia Agricola.** v.71, n.3, p.212-225, 2014.

METTE, T.; ALBRECHT, A.; AMMER, C.; BIBER, P.; KOHNLE, U.; PRETZSCH, H. Evaluation of the forest growth simulator SILVA on dominant trees in mature mixed Silver fir–Norway spruce stands in South-West Germany. **Ecological Modelling,** v.220, n.13-14, p.1670-1680. 2009.

MONSERUD, R. A. STERBA, H. A basal area increment model for individual trees growing in even-and uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and Management.** v.80, p.57- 80, 1996.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 1989. 422p.

NISHIZONO, T. Effects of thinning level and site productivity on age- related changes in stand volume growth can be explained by a single rescaled growth curve. **Forest Ecology and Management,** v. 259, p. 2276- 2291, 2010.

NOGUEIRA, G. S. LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore,** v. 29, n. 4, p. 579-589, 2005.

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. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste.** 2003. 132 p. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

OZÇELIK, R.; DIAMANTOPOULOU, M.J.; BROOKS, J.R.; WIANT, H.V. J. Estimating tree bole volume using artificial neural network models for four species in Turkey. **Journal of Environmental Management.** v. 91 n.03 p.742-753, 2010.

PIENNAR, L. V. An approximation of basal area growth after thinning based on growth in unthinned plantations. **Forest Science,** v. 25, n.2, p. 223-232, 1979.

RETSLAFF, F. A. S; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; BERNETT, L. G.; FIGURA,

M. A. Prognose do crescimento e da produção em classes de diâmetro para povoamentos desbastados de *Eucalyptus grandis* no sul do Brasil. **Revista Árvore**, v.36, n.4, p.719-732, 2012.

ROBERTS, S. D.; HARRINGTON, C. A. Individual tree growth response to variable-density thinning in coastal Pacific Northwest forests. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.2771–2781, 2008.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; RÍO, M. del; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G. Distance independent tree diameter growth model for cork oak stands. **Forest Ecology and Management**, v.225, p.262-270, 2006.

SANTANA, C. J. O. **Simulação do crescimento e da produção em plantações de *Eucalyptus grandis* com diferentes procedimentos de obtenção dos parâmetros da distribuição Weibull**. 2008. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

SILVA, L. F.; SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B.; GONÇALVES, L. E. S.; REIS, L. P. Avaliação de métodos de seleção de competidores em nível de árvore individual em uma Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, v.39, n.6, p.1119-1125, 2015.

STAGE, A. R. **Prognosis model for stand development**. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-137. Washington, DC, 1973. 32 p.

STATSOFT, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.

SUBEDI, N.; SHARMA, M. Individual-tree diameter growth models for black spruce and jack pine plantations in northern Ontario. **Forest Ecology and Management**. v.261, p.2140–2148, 2011.

VOSPERNIK, S.; MONSERUD, R. A. STERBA, H. Do individual tree growth models correctly represent height: diameter ratios of Norway spruce and Scots pine? **Forest Ecology and Management**. v.260, n.10, p.1735–1753, 2010.

WEISKITTEL, A. R.; HANN, D. W.; HIBBS, D. E.; LAM, T. Y.; BLUHM, A. A. Modeling top height growth of red alder plantations. **Forest Ecology and Management**. v.258, p.323–331, 2009.

WEISKITTEL, A. R.; HANN, D. W.; KERSHAW JR, J. A.; VANCLAY, J. K. **Forest Growth and Yield Modeling**. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ. 2011. 415 p.

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados do capítulo I permitiram concluir as diferentes intensidades de desbaste influenciaram o crescimento em *DAP*, porém foi observada pouca influência no crescimento em altura total. As diferentes taxas de crescimento diamétrico resultaram na impossibilidade de utilizar uma única equação hipsométrica para os diferentes tratamentos em cada idade. O modelo proposto por Curtis resultou nas melhores estimativas de altura total nas diferentes intensidades de desbaste.

Com os resultados do capítulo II pode-se concluir que entre os índices independentes da distância tradicionais, apenas o BAL é indicado para representar a competição em povoamentos desbastados. A inclusão da variável AB_{24} no cálculo dos índices tradicionais independentes e semi-independentes da distância resulta em aumento da eficácia para descrever a competição entre árvores em povoamentos desbastados.

Os resultados do capítulo III permitiram concluir que o modelo Linear (3) foi o que proporcionou estimativas precisas do crescimento em diâmetro e altura total de árvores individuais. Nas simulações, o modelo Linear ajustado com os índices de competição BAL e o NBAL foram superiores, permitindo captar o efeito das diferentes intensidades de desbastes, proporcionando resultados estatística e biologicamente consistentes com a redução da competição em nível de árvores individuais.