

GILCIANO SARAIVA NOGUEIRA

MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE
Eucalyptus sp. E DE *Tectona grandis* SUBMETIDOS A DESBASTE

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

GILCIANO SARAIVA NOGUEIRA

MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE
Eucalyptus sp. E DE *Tectona grandis* SUBMETIDOS A DESBASTE

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 12 de agosto de 2003.

Prof. Laércio Couto
(Conselheiro)

Prof. Agostinho Lopes de Souza

Prof. Heleno do Nascimento Santos

Prof. Flávio Lopes Rodrigues

Prof. Helio Garcia Leite
(Orientador)

A Deus.

Aos meus pais e irmãos.

À minha esposa Márcia.

Às minhas filhas, Milena e Bruna.

*Sei que a arte é irmã da ciência,
ambas filhas de um Deus fugaz,
que faz num momento e no mesmo momento
desfaz.*

Gilberto Gil

AGRADECIMENTO

A Deus, *Abba*.

Ao professor Helio Garcia Leite, pela confiança, pela excelente orientação e por ter sido um verdadeiro mestre na arte de ensinar (desafiar) e de dividir os talentos que lhe foram confiados.

Ao professor João Carlos Chagas Campos, pelos ensinamentos no decorrer do curso e por ser um exemplo de sabedoria e de humildade.

Aos professores Agostinho Lopes de Souza, Laércio Couto, Heleno do Nascimento Santos e Flávio Lopes Rodrigues, pelas sugestões apresentadas durante a defesa deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade oferecida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro para a realização do curso.

Às empresas Copener Florestal e Floresteca Agroflorestal Ltda, pelo fornecimento dos dados utilizados neste estudo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial aos secretários da pós-graduação Ritinha e Frederico, ao porteiro Chiquinho e aos funcionários da biblioteca setorial José Mauro e Francisco.

Aos amigos do curso de pós-graduação Flávio, Andréa, Valdir, Alexandre, Márcio, Jozé Mauro, Jovani, Danilo e Deuclides, pelo apoio, entusiasmo e incentivo durante a realização deste estudo.

Aos velhos amigos Luciano, Paulo Sérgio, Efigênio e Rogério, pelo estímulo e constante apoio.

Aos meus pais, pelo amor oblativo em todas as etapas de minha vida.

Aos meus irmãos, sogro e sogra, pela convivência agradável e pelo amparo durante esse período.

À minha mulher Márcia, por estar presente em todos os momentos, como uma fonte de amor e companheirismo incondicional, e por ser mãe de minhas filhas Milena e Bruna, as maiores graças divinas que já recebi.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

GILCIANO SARAIVA NOGUEIRA, filho de José Nogueira Fialho e Margarida Saraiva Mafía Fialho, nasceu em 2 de março de 1972, em São Miguel do Anta, Estado de Minas Gerais.

Em 1991, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em dezembro de 1995.

Em outubro de 1996, iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em 19 de fevereiro de 1999.

Em agosto de 1999, iniciou o curso de Doutorado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 12 de agosto de 2003.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO	1
MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA POVOAMENTOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SUBMETIDOS A DESBASTE	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1. Descrição dos dados	9
2.2. Capacidade produtiva, altura total e volume por árvore	10
2.3. Freqüências diamétricas estimadas	11
2.4. Redistribuição teórica dos diâmetros por classe	12
2.5. Avaliação da redistribuição teórica dos diâmetros	14
2.6. Avaliação da predição da produção em volume	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1. Capacidade produtiva, altura total e volume por árvore	17
3.2. Freqüência diamétrica observada e estimada	19
3.3. Redistribuição teórica dos diâmetros por classe	21
3.4. Análise de compatibilidade e identidade entre os sistemas	25

	Página
3.5. Avaliação da predição da produção em volume	26
4. CONCLUSÕES	31
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA AJUSTADO PARA POVOAMENTOS DE <i>Eucalyptus</i> sp. SUBMETIDOS A DESBASTE	35
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1. Modelo de distribuição diamétrica	37
2.2. Projeção da distribuição diamétrica e idade técnica de desbaste	39
2.3. Simulação de desbastes	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1. Desempenho do modelo de distribuição diamétrica	41
3.2. Projeção da distribuição diamétrica	43
3.3. Idade técnica de desbaste	48
3.4. Simulação de desbastes	51
4. CONCLUSÕES	60
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA POVOAMENTOS DE <i>Tectona grandis</i> SUBMETIDOS A DESBASTE	62
1. INTRODUÇÃO	63
2. MATERIAL E MÉTODOS	65
2.1. Informações sobre os dados	65
2.2. Classificação da capacidade produtiva, estimação da altura total e do volume comercial	65
2.3. Modelo de distribuição diamétrica	66
2.4. Avaliação do modelo de distribuição diamétrica	69
2.5. Avaliação das estimativas de volume	70
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.1. Capacidade produtiva, altura total e volume por árvore	71
3.2. Redistribuição teórica dos diâmetros por classe	74
3.3. Compatibilidade e identidade entre os sistemas	81
3.4. Predição da produção em volume	82

	Página
4. CONCLUSÕES	85
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA AJUSTADO PARA POVOAMENTOS DE <i>Tectona grandis</i> SUBMETIDOS A DESBASTE	88
1. INTRODUÇÃO	89
2. MATERIAL E MÉTODOS	90
2.1. Modelo de distribuição diamétrica e idade técnica de desbaste	90
2.2. Simulação de desbastes	93
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
3.1. Avaliação quantitativa do modelo de distribuição diamétrica	94
3.2. Projeção da distribuição diamétrica	95
3.3. Idade técnica de desbaste	102
3.4. Simulação de desbastes	105
4. CONCLUSÕES	118
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
RESUMO E CONCLUSÕES	122
RECOMENDAÇÕES	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126

RESUMO

NOGUEIRA, Gilciano Saraiva, D.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2003.
Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. Orientador: Helio Garcia Leite.
Conselheiros: João Carlos Chagas Campos e Laércio Couto.

Os objetivos deste estudo foram desenvolver e avaliar modelos de distribuição diamétrica para povoamentos desbastados de eucalipto e de teca (*Tectona grandis* L. f.). Avaliou-se também a eficiência do método dos ingressos percentuais para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste em plantação de eucalipto e de teca. Os dados de eucalipto foram originários de um experimento sobre desbastes, instalado em povoamentos do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, pertencentes à empresa COPENER FLORESTAL, na região nordeste do Estado da Bahia. Os dados de teca são provenientes de uma rede de parcelas permanentes instaladas em povoamentos desbastados, de propriedade da empresa FLORESTECA AGROFLORESTAL Ltda, no Estado do Mato Grosso. A recuperação das distribuições diamétricas foi feita a partir de equações de regressão, lineares e não-lineares, entre os parâmetros da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2) e os parâmetros em uma idade atual (β_1 e γ_1) e com características do povoamento em uma idade atual e futura. Foi utilizado um sistema único de equações para prever o crescimento e a produção por classe de diâmetros antes e após o desbaste. A avaliação dos modelos consistiu em analisar as estatísticas das equações que compõem os sistemas, a compatibilidade destes, a identidade entre

eles e a avaliação das estimativas de produção em volume. Analisaram-se as idades técnicas de desbaste obtidas pelo método dos ingressos percentuais, as distribuições diamétricas projetadas para idades futuras e o comportamento da distribuição remanescente, após algumas simulações de desbaste, sob o ponto de vista da teoria, da lógica e do realismo biológico. As principais conclusões foram: os modelos propostos são compatíveis e garantem a propriedade de que, quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual; a predição dos parâmetros da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2), a partir dos parâmetros em uma idade atual (β_1 e γ_1) e das características do povoamento em uma idade atual e futura, resultou em estimativas consistentes e precisas; os modelos são biologicamente corretos e consistentes; o método dos ingressos percentuais é adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste em povoamentos de eucalipto e de teca; a estagnação do crescimento é mais rápida após o desbaste; a aplicação do modelo desenvolvido para povoamentos de eucalipto permite simular cenários de desbastes que contemplem ou não as condições observadas no campo; para teca, a aplicação do modelo é restrita, pois as projeções para idades futuras devem ser realizadas somente a partir de simulações de desbastes que contemplem as condições observadas; para que um modelo de distribuição diamétrica, desenvolvido para manejo de povoamentos equiâneos desbastados, possa ser aplicado sem restrições, é necessário que o sistema de equações seja ajustado a dados oriundos de parcelas permanentes instaladas especificamente para estudos de desbastes.

ABSTRACT

NOGUEIRA, Gilciano Saraiva, D.S., Universidade Federal de Viçosa, August 2003.
Modelling of growth and yield of thinned stands of *Eucalyptus* sp. and *Tectona grandis*. Adviser: Helio Garcia Leite. Committee members: João Carlos Chagas Campos and Laércio Couto.

The objective of this study was to develop and evaluate diametric distribution models for thinned stands of eucalypts and teak (*Tectona grandis* L. f.). The efficiency of the percentage of entries method was also evaluated to determine the technical age of the first and second thinning in eucalypt and teak plantations. Data of eucalypt were from a thinning essay established in stands of the *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* hybrid, owned by the COPENER FLORESTAL enterprise, located in the Northeast region of the Bahia State, Brazil. Data of teak were from a net of permanent plots established in thinned stands, owned by the FLORESTECA AGROFLORESTAL Ltda enterprise, in the Mato Grosso State, Brazil. The recovery of the diametric distributions was done from regression equations, both linear and non-linear, between the Weibull function in future age parameters (β_2 and γ_2) and the present age parameters (β_1 and γ_1) and with characteristics of the present age stand and the future age. A single equation system was used to predict the growth and yield by diameter class before and after thinning. The evaluation of the models consisted in analyzing the statistics of the equations composing the systems, the compatibility of these systems, the identity within themselves, and the evaluation of the estimates of yield in volume. The technical ages of

thinning obtained by the percentage of entries method, the diametric distribution projected for future ages and the behavior of the remaining distribution, after some thinning simulations, theoretically, logically and biologically speaking, were analyzed. The main conclusions were: the models proposed are compatible and secure the property that when the future age (I_2) is equal to the present age (I_1), the diametric distribution in the future age is equal to the diametric distribution in the present age; the prediction of the parameters of the Weibull function in a future age (β_2 and γ_2) taken from the parameters of the present age (β_1 and γ_1) and from the characteristics of the stand in the present and future age, resulted in consistent and accurate estimates; the models are biologically consistent and correct; the percentage of entries method is suitable to determine the technical age of the first and second thinning in stands of eucalypt and teak; the growth stagnation is foster after thinning; the use of the model developed for eucalypt stands allows the simulation of thinning scenarios with and without the conditions observed in the field. For teak the use of the model is limited because projection for future ages has to be done based only on thinning simulations with the conditions observed; in order that a diametric distribution model developed for the management of thinned even-aged stands be used without restriction it is necessary that the equations system be adjusted to data from permanent plots established with the specific objective of thinning studies.

INTRODUÇÃO

Na última década, as pesquisas na área de tecnologia da madeira comprovaram o potencial da madeira de eucalipto para serraria, o que aumentou significativamente o interesse do setor moveleiro por árvores de grande porte desta espécie. Em consequência, a partir do início dos anos 90, alguns povoamentos de eucalipto destinados a atender esse setor passaram a ser manejados em regime de desbastes.

Outra cultura, considerada uma das mais importantes do mundo, cuja madeira é utilizada na carpintaria, na marcenaria, na produção de móveis finos e na construção naval é a teca (*Tectona grandis* L. f.) (MATRICARDI, 1989; LAMPRECHT, 1990). De acordo com OLIVEIRA (2003), os reflorestamentos com esta espécie são realizados, em grande escala, há mais de cem anos. Atualmente, a área plantada é estimada em 2,5 milhões de hectares e inclui plantios estabelecidos na Ásia, Oceania, África e América. O preço da madeira de teca pode variar de US\$ 180.00/m³ a US\$ 3,500.00/m³, dependendo do porte da árvore e da coloração da madeira (CTFT, 1990). Como as árvores de grande porte permitem auferir maior receita, os povoamentos de teca implantados com objetivos comerciais também têm sido manejados em regime de desbastes e com aplicação de desrama artificial.

O desbaste é uma técnica silvicultural antiga, cujas primeiras experiências foram realizadas na Alemanha. Os primeiros relatos sobre desbastes datam do século XVI. Segundo PIENAAR (1965), o termo “desbaste” foi introduzido na nomenclatura florestal em 1791 por G. L. Harting. De acordo com SMITH (1962), o desbaste consiste na remoção parcial de árvores do povoamento florestal com o objetivo de estimular o

crescimento das árvores remanescentes e aumentar a produção de matéria-prima aproveitável deste. É o tratamento silvicultural mais indicado para produzir árvores de grande porte com qualidade desejável. Com ele, o potencial produtivo de um local passa a ser direcionado para algumas árvores remanescentes, proporcionando a retomada do crescimento destas. Essa retomada do crescimento resulta, de forma rápida, em um aumento significativo do diâmetro das árvores remanescentes, ou seja, em curto espaço de tempo, as árvores ingressam em classes de diâmetros superiores. Esse ingresso pode ser maior se o povoamento remanescente for composto por árvores dominantes, que são mais eficientes na relação fotossíntese/respiração do que as árvores dominadas (BURGER, 1980).

Pesquisando os primórdios das práticas de desbaste, nota-se que as decisões eram empíricas e dependiam exclusivamente da experiência e do conhecimento teórico do administrador florestal. Somente no final da década de 1930 foram estabelecidos os primeiros estudos sobre desbaste, que seguiam os princípios da experimentação. O principal experimento instalado naquela época foi desenvolvido por O'Connor em 1935 e estabelecido na África do Sul por Craib em 1939 (HILEY, 1959), denominado método das curvas correlacionadas ou método CCT (*Correlated Curve Trend*). A partir daí, experimentos de desbastes bem planejados foram implantados em diversos países, sendo a maioria em povoamentos de *Pinus*. Em contrapartida, vários experimentos não foram bem sucedidos, em razão, principalmente, da maneira empírica de estabelecimento dos tratamentos e da adoção de parcelas experimentais extremamente reduzidas.

Ao interpretar a literatura pertinente, verifica-se que a evolução das técnicas utilizadas no manejo de florestas equiâneas deve-se, em parte, às pesquisas conduzidas nas áreas de Mensuração Florestal e Pesquisa Operacional, com enfoque nas plantações desbastadas. Foi nesse sentido que surgiram vários modelos de crescimento e produção consagrados mundialmente e alguns sistemas de suporte à decisão.

Apesar das diversas contribuições técnico-científicas sobre estudo de desbaste, as hipóteses elaboradas para o crescimento e a produção de florestas equiâneas desbastadas e as principais técnicas desenvolvidas foram muitas vezes fundamentadas em dados de povoamentos não-desbastados, especialmente de *Pinus* e, em alguns casos, de eucalipto. Por outro lado, conforme PIENAAR (1979), as decisões relacionadas com o regime de manejo de florestas desbastadas necessitam de informações de crescimento e produção que incorporem respostas do desbaste.

Os regimes de desbastes são caracterizados por método ou tipo de desbaste, intensidade de desbaste, início e frequência (idade técnica de desbaste) e sistemas de colheita (NEBECKER et al., 1985). Existem publicados na literatura diversos procedimentos para regulação de desbastes, destacando-se aqueles baseados nas medidas que descrevem a densidade do povoamento, na avaliação econômica utilizando capitalização periódica e em modelos de otimização. As pesquisas recentes indicam que os regimes de desbaste devem ser estabelecidos utilizando sistemas de suporte à decisão. Esses sistemas devem incorporar modelos de crescimento e produção, prescrições, matemática financeira e Pesquisa Operacional. Portanto, é imprescindível o desenvolvimento de modelos de crescimento e produção utilizando dados de povoamentos desbastados.

Os principais desenvolvimentos teóricos sobre manejo quantitativo de povoamentos desbastados foram obtidos com o uso de modelos em nível de povoamento. Podem-se citar como exemplo do uso de modelos em nível de povoamento, para modelagem de florestas desbastadas ou sujeitas ao desbaste, os trabalhos de BUCKMAN (1962), CLUTTER (1963), PIENAAR (1965), SULLIVAN e CLUTTER (1972), PIENAAR e TURNBULL (1973), PIENAAR (1979), CLUTTER e JONES (1980), BAILEY e WARE (1983), BURKHART e SPRINZ (1984), PIENAAR e SHIVER (1984), TREVISOL JUNIOR (1985), PIENAAR e HARRISON (1987), CAMPOS et al. (1988), PECE DE RIOS (1993), CAMPOS et al. (1996), SCOLFORO e MACHADO (1996), DIAS (2000), entre outros. No entanto, conforme BURKHART et al. (1981), os modelos em nível de povoamento podem ser inflexíveis para simulação de desbastes. Além do mais, esses modelos não fornecem elementos para que se proceda à avaliação econômica de multiprodutos da madeira. Eles devem ser aplicados quando se desejam estimativas gerais da população. Ainda, segundo o autor, os modelos de distribuição diamétrica são mais adequados para analisar desbaste, uma vez que possibilitam a avaliação econômica de multiprodutos, além de serem mais flexíveis. Segundo CLUTTER et al. (1983), esses modelos permitem estimar o crescimento e a produção por classes de tamanho (diâmetro) e têm como característica comum o uso de uma função de densidade de probabilidade (f.d.p.). Nesse sentido, conforme BAILEY e DELL (1973), a função Weibull tem sido a mais utilizada. Essa preferência pela função deve-se à sua flexibilidade e capacidade para descrever diferentes tipos de distribuição.

As etapas para a construção de um modelo de distribuição diamétrica, conforme CAMPOS e LEITE (2002), são: a) adquirir dados representativos de parcelas permanentes; b) ajustar uma f.d.p. para cada parcela, em cada medição, empregando preferencialmente o método da máxima verossimilhança; c) obter equações de regressão para estimar os parâmetros da f.d.p., utilizando como variáveis independentes características do povoamento, como idade, densidade e índice de local; d) avaliar e aplicar o modelo. De acordo com SOARES et al. (1995) e CAMPOS e LEITE (2002), a avaliação do modelo compreende interpretações de ordem quantitativa - que trata de testes estatísticos e comparação de previsões com observações independentes - e qualitativa - envolvendo aspectos como o realismo biológico do modelo. Exemplos de desenvolvimento de modelos de distribuição diamétrica podem ser encontrados em CLUTTER e BENNETT (1965), CAMPOS (1979), BAILEY (1980), BAILEY et al. (1981), CAMPOS e TURNBULL (1981), STRUB et al. (1981), CAO et al. (1982), MATNEY e SULLIVAN (1982), BAILEY e WARE (1983), KNOEBEL et al. (1986), BALDWIN e FEDUCCIA (1987), LEITE (1990), GUIMARÃES (1994), SILVA (2001), entre outros.

Ao consultar a literatura pertinente, observa-se que existem poucos trabalhos de modelos de crescimento e produção desenvolvidos para povoamentos desbastados de eucalipto e de teca. Em relação ao desenvolvimento de modelos de distribuição diamétrica para esses povoamentos, não foi ainda encontrado nenhum trabalho publicado. Para o caso específico dos plantios de teca essa carência é ainda maior, não sendo identificado nenhum modelo de distribuição diamétrica desenvolvido para povoamentos desbastados e não-desbastados.

Assim, elaborou-se este estudo com o objetivo geral de desenvolver modelos de crescimento e produção, por classe de diâmetros, para povoamentos desbastados de eucalipto e de teca. Os objetivos específicos foram:

- avaliar quantitativa e qualitativamente, através de testes estatísticos e das análises das tendências lógicas esperadas do ponto de vista biológico, os modelos de distribuição diamétrica desenvolvidos para povoamentos desbastados de eucalipto e de teca; e
- avaliar a eficiência do método dos ingressos percentuais, divulgado por NOGUEIRA et al. (2001), para a determinação da idade técnica do primeiro e do segundo desbaste em plantação de eucalipto e de teca.

O presente estudo é apresentado em quatro artigos científicos. No primeiro consta a avaliação quantitativa do modelo de distribuição diamétrica desenvolvido para

povoamentos de eucalipto. No segundo, o modelo desenvolvido para povoamentos de eucalipto foi avaliado de acordo com a tendência esperada do ponto de vista do realismo biológico. Ainda neste artigo, verificou-se a eficiência do método dos ingressos percentuais na determinação da idade técnica do primeiro e do segundo desbaste em plantação de eucalipto. No terceiro artigo foram avaliados, através de testes estatísticos, o erro de tendência, a precisão e o grau de ajustamento do modelo de distribuição diamétrica desenvolvido para povoamentos de teca. No quarto artigo, fez-se a avaliação do modelo desenvolvido para povoamentos de teca, de acordo com a teoria, a lógica e o aspecto biológico. A eficiência do método dos ingressos percentuais para a determinação da idade técnica do primeiro e do segundo desbaste, em plantação de teca, também foi avaliada neste quarto artigo.

MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* sp. SUBMETIDOS A DESBASTE

RESUMO – Os dados utilizados neste estudo são oriundos de um experimento sobre desbastes, instalado em povoamentos do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, pertencentes à empresa COPENER FLORESTAL, na região nordeste do Estado da Bahia. Os dados foram coletados em 48 parcelas permanentes retangulares, com área útil de aproximadamente 2.600 m². As medições foram realizadas aos 27, 40, 50, 58, 61, 76, 87, 101 e 112 meses, sendo o primeiro desbaste aplicado aos 58 meses. Foram consideradas diferentes porcentagens de redução da área basal. Os objetivos do estudo foram construir e avaliar quantitativamente, por meio de testes estatísticos, um modelo de crescimento e produção por classe de diâmetros para povoamentos desbastados de eucalipto. A redistribuição teórica dos diâmetros por classe foi feita a partir de equações que compreendem relações lineares e não-lineares entre os parâmetros da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2) e os parâmetros em uma idade atual (β_1 e γ_1) e com algumas características do povoamento em uma idade atual e futura. Utilizou-se o mesmo sistema de equações para prever o crescimento e a produção por classe de diâmetro antes e após o desbaste. Foram avaliados três sistemas de equações, as quais foram analisadas através do coeficiente de determinação ajustado, do coeficiente de correlação e da análise gráfica dos resíduos. Foram realizados testes para verificar a compatibilidade dos sistemas e a identidade entre eles. O sistema selecionado garante a propriedade de que, quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual. O modelo gerou estimativas precisas e consistentes na predição da produção em volume total e por classe de diâmetro. Com base nos resultados, concluiu-se que o modelo é compatível, sendo indicado para prever o crescimento e a produção total e por classe de diâmetro para povoamentos desbastados de eucalipto; e que as distribuições diamétricas futuras devem ser projetadas em função de distribuições observadas em uma idade atual.

Palavras-chave: modelo de distribuição diamétrica, desbaste, eucalipto e avaliação de modelo.

DIAMETRIC DISTRIBUTION MODEL FOR THINNED *Eucalyptus* sp. STANDS

ABSTRACT – Data used for this study are from a thinning essay established in stands of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* hybrid carried out in the COPENER FLORESTAL enterprise, in the Northeast region of the Bahia State, Brazil. Data were collected in 48 rectangular permanent plots, with an area of around 2,600 m². The measurements were made at 27, 40, 50, 58, 61, 76, 87, 101 and 112 months and the first thinning was made at 58 months. Various percentages of basal area reductions were used. The objective of the study was to build and quantitatively evaluate, through statistical tests, a growth and yield model by diameter class for thinned eucalypt stands. The theoretic redistribution of diameters by class was made through equations that include both linear and non-linear relations between the weibull function parameters in a future age (β_2 and γ_2) and the parameters in the present age (β_1 and γ_1) and with some characteristics of the stand in the present and future age. The some equation system was used to predict growth and yield by diameter class before and after thinning. Three equations systems were analyzed. The equations were analyzed through the adjusted determination coefficient, the correlation coefficient and the graphical analyses of the residues. Tests were performed to verify the compatibility of the systems and the identity among them. The selected system secures the property of when the future age (I_2) is equal to the present age (I_1), the diametric distribution in the future age is equal to the diametric distribution in the present age. The model generated accurate and consistent estimates in the prediction of the yield as a total and by diameter class volumes. Based on the results, the conclusion was that the model is compatible, being recommended to predict growth and total yield as well as by diametric class yield for thinned eucalypt stands; and the future diametric distributions should be projected in function of distribution observed in the present age.

Key words: diametric distribution model, thinning, eucalypt and model evaluation.

1. INTRODUÇÃO

A modelagem do crescimento e da produção de povoamentos desbastados tem sido feita por meio dos modelos em nível de povoamento (BUCKMAN, 1962; CLUTTER, 1963; PIENAAR, 1965; SULLIVAN e CLUTTER, 1972; PIENAAR e

TURNBULL, 1973; PIENAAR, 1979; CLUTTER e JONES, 1980; BAILEY e WARE, 1983; BURKHART e SPRINZ, 1984; PIENAAR e SHIVER, 1984; TREVISOL JUNIOR, 1985; PIENAAR e HARRISON, 1987; CAMPOS et al., 1988; PECE DE RIOS, 1993; CAMPOS et al., 1996; SCOLFORO e MACHADO, 1996; DIAS, 2000; entre outros) e, em alguns casos, empregando modelos de distribuição diamétrica. Conforme BURKHART et al. (1981), os modelos em nível de povoamento são inflexíveis para analisar simulações de desbastes. Além do mais, esses modelos não fornecem elementos necessários para que se proceda à avaliação econômica de multiprodutos da madeira. Eles devem ser aplicados quando se desejam estimativas gerais da população. Apesar disso, cabe lembrar que os principais desenvolvimentos teóricos sobre manejo quantitativo de povoamentos desbastados foram obtidos com o uso de modelos em nível de povoamento.

Os modelos de distribuição diamétrica possibilitam a avaliação econômica de multiprodutos, além de serem flexíveis para analisar simulações de desbaste (BURKHART et al., 1981). Esses modelos permitem estimar o crescimento e a produção por classes de tamanho (diâmetro) e têm como característica comum o uso de uma função de densidade de probabilidade (CLUTTER et al., 1983). Alguns exemplos do uso desses modelos foram apresentados em CLUTTER e BENNETT (1965), CAMPOS (1979), BAILEY (1980), CAMPOS e TURNBULL (1981), BAILEY et al. (1981), STRUB et al. (1981), CAO et al. (1982), MATNEY e SULLIVAN (1982), BAILEY e WARE (1983), KNOEBEL et al. (1986), LEITE (1990), GUIMARÃES (1994), SILVA (2001), entre outros. Nesses trabalhos, a maioria dos dados utilizados foi oriunda de povoamentos de *Pinus* não-desbastados e, em alguns casos, de plantações desbastadas. Por outro lado, trabalhos com eucalipto foram todos provenientes de plantações não-desbastadas. A explicação para a carência de estudos com modelos de distribuição diamétrica em plantações desbastadas é a falta de dados confiáveis, já que antes da década de 1990, em geral, não havia muito interesse em produzir árvores de eucalipto de grande porte e, conseqüentemente, em manejar floresta de eucalipto com desbaste.

O objetivo deste estudo foi construir e avaliar quantitativamente, através de testes estatísticos, um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos desbastados de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição dos dados

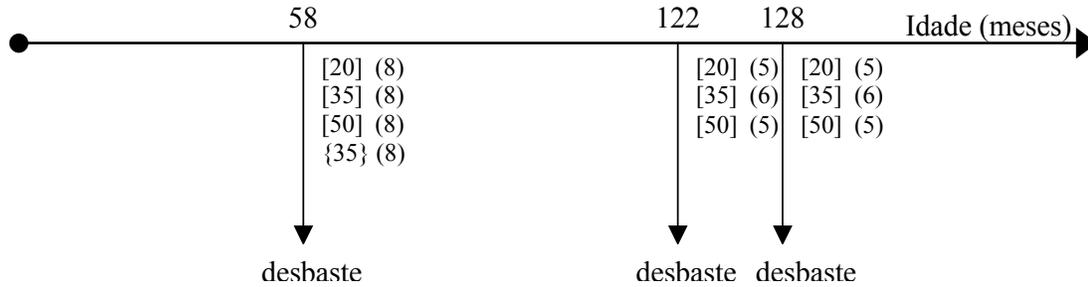
Foram utilizados dados de um experimento sobre desbastes, instalado em três povoamentos do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, na empresa COPENER FLORESTAL, na região nordeste do Estado da Bahia. O experimento foi localizado em três instalações (*installations*), abrangendo locais de capacidades produtivas extremas e intermediárias, e composto de quatro tratamentos e seis blocos, sendo dois blocos em cada instalação. Cada bloco continha duas repetições, totalizando 48 parcelas, com área útil de 2.600 m² aproximadamente. O espaçamento inicial entre as árvores era de aproximadamente 3 x 3 m. Os tratamentos aplicados corresponderam a diferentes porcentagens de área basal removidas em cada desbaste: T1: redução de 20% da área basal presente, eliminando os piores indivíduos; T2: redução de 35% da área basal presente, eliminando os piores indivíduos; T3: redução de 50% da área basal presente, eliminando os piores indivíduos; e T4: redução de 35% da área basal presente e desrama artificial nas prováveis árvores remanescentes, empregando-se uma altura para desrama de 6,0 m. Esse tipo de experimento segue os princípios mencionados em LEVELS-OF-GROWING-STOCK (2002). Informações da área onde se encontra o experimento são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Informações da área onde se encontra o experimento sobre desbaste de eucalipto

Projeto	Município	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude média (m)	Precipitação média anual (mm)
A	Inhambupe-BA	11°52'	38°32'	285	900
B	Inhambupe-BA	12°03'	38°28'	290	1.100
C	Esplanada-BA	11°47'	37°55'	150	1.200

As parcelas permanentes foram medidas aos 27, 40, 50, 58, 61, 76, 87, 101 e 112 meses. O primeiro desbaste foi realizado aos 58 meses. Em cada medição foram registradas as seguintes características por parcela: razão de copa de cada árvore, altura total das 15 primeiras árvores, altura de 5 árvores dominantes e *dap* de todas as árvores contidas nas parcelas.

Cabe informar que a seqüência de aplicação do segundo desbaste foi preconizada conforme a Figura 1. Observa-se que houve aumento no número de tratamentos do experimento e no número de épocas de realização dos desbastes.



- [] % de redução da área basal presente, eliminando os piores indivíduos.
 { } % de redução da área basal presente, eliminando os piores indivíduos, e desrama artificial nas prováveis árvores remanescentes.
 () Número de parcelas.

Figura 1 – Esquema dos tratamentos.

2.2. Capacidade produtiva, altura total e volume por árvore

A classificação da capacidade produtiva foi feita pelo método da curva-guia, utilizando a forma linearizada do modelo de Schumacher:

$$\text{LnHd} = \beta_0 + \beta_1 I^{-1} + \varepsilon \quad (1)$$

em que: Hd = altura dominante, em m; I = idade, em meses; Ln = logaritmo neperiano; β_i = parâmetros a serem estimados; e ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Para estimar a altura total foram testados alguns modelos existentes na literatura que relacionam a altura total de cada árvore com variáveis da árvore e do povoamento. Os modelos testados foram:

$$\text{LnHt} = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 \text{dap}^{-1} + \beta_3 \text{LnI} + \varepsilon \quad (2)$$

$$\text{Ht} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 \text{dap} + \beta_3 S + \varepsilon \quad (3)$$

$$\text{Ht} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 S + \beta_3 \text{Ln}(I \text{ dap}) + \varepsilon \quad (4)$$

$$\text{LnHt} = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 Hd + \beta_3 \text{dap}^{-1} + \varepsilon \quad (5)$$

$$\text{Ht} = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_3 S \text{LnI} + \varepsilon \quad (6)$$

em que:

Ht = altura total da árvore, em m;

Hd = média das alturas totais das árvores dominantes, em m;

dap = diâmetro a 1,30 m de altura, em cm;

S = índice de local, em m;

I, Ln, β_i e ε = conforme já definidos.

Para a obtenção do volume real, foram abatidas e cubadas 277 árvores-amostra, em diferentes classes de diâmetro, sendo em seguida ajustado o modelo múltiplo proposto por LEITE et al. (1995), da seguinte forma:

$$V = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} e^{\beta_3 \frac{Tx}{dap}} \left[1 - \left(\frac{d}{dap} \right)^{1 + \beta_4 d} \right] + \varepsilon \quad (7)$$

em que:

V = volume comercial com e sem casca por árvore, em m³;

Tx = variável binária, sendo $Tx = 0$ para volume com casca e $Tx = 1$ para volume sem casca;

d = diâmetro mínimo comercial; e demais variáveis e parâmetros, como definidos anteriormente.

2.3. Frequências diamétricas estimadas

Para estimar a frequência diamétrica por parcela foi utilizada a função densidade de probabilidade Weibull, cuja relação funcional é:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^\gamma} & , \text{ para } \alpha \leq x < \infty \\ 0 & , \text{ para outros valores de } x \end{cases} \quad (8)$$

A forma acumulativa $F(x)$ da função Weibull é:

$$F(x) = \int_{\alpha}^{\infty} f(x) dx = 1 - e^{-\left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^\gamma} , (\alpha \leq x < \infty) \quad (9)$$

em que:

α = parâmetro de locação;

β = parâmetro de escala;

γ = parâmetro de forma; e

x = centro da classe de diâmetro, sendo $x \geq 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$.

O parâmetro de locação foi excluído da função, admitindo que, conforme RUSTAGI (1977), essa eliminação causa pequeno impacto na precisão das estimativas.

A função foi ajustada aos dados de distribuição diamétrica observada de cada parcela em todas as medições. Os dados foram agrupados em classes com intervalos regulares de 1 cm de amplitude. Para cada ajuste, o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para testar a hipótese de nulidade de que os diâmetros observados seguissem a distribuição Weibull estimada pelo método da máxima verossimilhança, em nível de 5% de probabilidade. Nas parcelas em que o teste foi significativo, empregou-se o método da aproximação linear para obter β e γ .

2.4. Redistribuição teórica dos diâmetros por classe

A redistribuição teórica dos diâmetros por classe ou recuperação da distribuição diamétrica foi realizada por meio da alternativa tradicional de correlacionar parâmetros da função com características do povoamento. Essa correlação foi feita através de regressões linear e não-linear. Foram considerados como variáveis dependentes os parâmetros da função Weibull em uma idade futura e, como variáveis independentes, os parâmetros desta mesma função em uma idade atual e as características do povoamento em idades atual e futura. Os seguintes atributos do povoamento foram utilizados: idade, diâmetro máximo, diâmetro mínimo, diâmetro médio, índice de local, número de árvores, altura dominante e combinações dessas variáveis. Os ajustes dos modelos foram feitos com o conjunto de dados contendo todas as medições; assim, pôde-se gerar um sistema único para projetar as distribuições diamétricas antes e depois do desbaste.

Para ajustar as equações utilizou-se o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários e o Método dos Mínimos Quadrados Não-Lineares, empregando o procedimento iterativo Quasi-Newton. Após ajustar vários sistemas de equações, foram selecionados três deles, com base nos coeficientes de determinação ajustados (\bar{R}_{yy}^2) (para os modelos lineares) e de correlação (R_{yy}) (para os modelos lineares sem intercepto e para os modelos não-lineares) e na análise gráfica dos resíduos. Os ajustes foram efetuados no programa *Statistica* 6.0. As formas dos modelos estatísticos dos sistemas selecionados em análises prévias foram:

a) Sistema 1

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-\theta_1(I_2^{\theta_2} - I_1^{\theta_2})} \cdot \varepsilon$$

$$Ln\gamma_2 = \theta_3 + \theta_4 dmin_2 + \theta_5 Ln\gamma + \varepsilon$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_6 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 + \varepsilon$$

$$\beta_2 = \theta_7 + \theta_8 N_2 + \theta_9 dmax_2 + \theta_{10} \beta_1 + \varepsilon$$

$$N_2 = N_1 e^{-\theta_{11}(I_2^{\theta_{12}} - I_1^{\theta_{12}})} \cdot \varepsilon$$

➔ Antes do desbaste

$$N_2 = N_1$$

➔ Depois do desbaste

b) Sistema 2

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-\theta_1(I_2^{\theta_2} - I_1^{\theta_2})} \cdot \varepsilon$$

$$Ln\gamma_2 = Ln\gamma_1 e^{-\theta_3(I_2^{\theta_4} - I_1^{\theta_4})} \cdot \varepsilon$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_5 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 + \varepsilon$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_6 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2 + \varepsilon$$

$$N_2 = N_1 e^{-\theta_7(I_2^{\theta_8} - I_1^{\theta_8})} \cdot \varepsilon$$

➔ Antes do desbaste

$$N_2 = N_1$$

➔ Depois do desbaste

c) Sistema 3

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-\theta_1(I_2^{\theta_2} - I_1^{\theta_2})} \cdot \varepsilon$$

$$Ln\gamma_2 = Ln\gamma_1 e^{-\theta_3(I_2^{\theta_4} - I_1^{\theta_4})} \cdot \varepsilon$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_5 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 + \varepsilon$$

$$\beta_2 = \theta_6 + \theta_7 N_2 + \theta_8 dmax_2 + \theta_9 \beta_1 + \varepsilon$$

$$N_2 = N_1 e^{-\theta_{10}(I_2^{\theta_{11}} - I_1^{\theta_{11}})} \cdot \varepsilon \quad \rightarrow \quad \text{Antes do desbaste}$$

$$N_2 = N_1 \quad \rightarrow \quad \text{Depois do desbaste}$$

em que:

I_2 = idade futura, em meses;

I_1 = idade atual, em meses;

γ_2 = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade futura;

γ_1 = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade atual;

β_2 = parâmetro de escala função Weibull em uma idade futura;

β_1 = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade atual;

$dmax_2$ = diâmetro máximo em uma idade futura, em cm;

$dmax_1$ = diâmetro máximo em uma idade atual, em cm;

$dmin_2$ = diâmetro mínimo em uma idade futura, em cm;

$dmin_1$ = diâmetro mínimo em uma idade atual, em cm;

N_2 = número de árvores por ha em uma idade futura;

N_1 = número de árvores por ha em uma idade atual;

Ln = logaritmo neperiano;

ε = erros aleatórios independentes, com média zero e variância constante; e

θ_i = parâmetros.

Cabe reportar que os três sistemas apresentam equações que asseguram a lógica e o realismo biológico. Ainda, antes do desbaste houve mortalidade natural das árvores. Assim, houve pequena diminuição no número de árvore ao longo dos anos e após o desbaste não houve mortalidade, ou seja, $N_2 = N_1$. A sobrevivência (N_2), antes do desbaste, foi estimada pelo modelo proposto por PIENAAR e SCHIVER (1981), e a relação funcional desse modelo também foi utilizada para estimar γ_2 nos sistemas 2 e 3 e $dmin_2$ no sistema 1, sendo: $Y_2 = Y_1 e^{-\theta_1(I_2^{\theta_2} - I_1^{\theta_2})} \cdot \varepsilon$

2.5. Avaliação da redistribuição teórica dos diâmetros

A redistribuição teórica dos diâmetros foi avaliada através do desempenho dos sistemas de equações gerados, considerando os seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}_{yy}^2) (para os modelos lineares), coeficiente de correlação entre

valores observados e estimados (R_{yy}) (para os modelos lineares sem intercepto e para os modelos não-lineares), análise gráfica dos resíduos e análise de compatibilidade. Foi selecionado o sistema de equações que apresentou o melhor desempenho. Realizou-se também um teste para verificar a identidade entre o sistema selecionado e os outros dois sistemas. As análises gráficas dos resíduos foram feitas considerando os parâmetros β_2 e γ_2 estimados pela função Weibull e aqueles estimados pelos sistemas de equações.

A distribuição diamétrica foi projetada a partir de uma distribuição em uma idade atual para uma idade futura, partindo-se sempre de uma distribuição inicial observada. O povoamento florestal antes do desbaste foi considerado independente do povoamento após o desbaste; assim, utilizou-se uma distribuição diamétrica inicial observada antes do primeiro desbaste e outra após o desbaste. Para os testes de compatibilidade e de identidade entre os sistemas foi empregada a média aritmética da distribuição observada em cada medição. As projeções foram realizadas a partir da média da distribuição observada na primeira medição antes do desbaste (27 meses) e após o desbaste (61 meses).

O objetivo da análise de compatibilidade foi verificar a consistência dos sistemas de equações, ou seja, analisar se a distribuição diamétrica projetada do início para o final de um período de tempo era compatível com a distribuição diamétrica projetada ano a ano. Utilizou-se o teste Qui-quadrado (χ^2) para testar as seguintes hipóteses:

H_0 = A distribuição diamétrica no final do período projetada de I_1 para I_2 , I_2 para I_3 , . . . , I_{n-1} para I_n , é igual à distribuição diamétrica no final do período projetada de I_1 para I_n

H_a = não H_0 .

sendo:

I_1 = idade atual, em meses;

I_2 = idade futura, em meses; e

I_n = idade no final do período, em meses.

Para verificar a identidade entre os sistemas utilizou-se o método proposto por LEITE e OLIVEIRA (2002), sendo avaliadas as seguintes hipóteses:

H_0 : A projeção da distribuição diamétrica obtida pelo sistema selecionado é igual à projeção obtida pelo sistema j.

H_a : não H_0 .

A projeção da distribuição diamétrica utilizada na análise de identidade foi feita ano a ano e do início para o final de um período de tempo.

2.6. Avaliação da previsão da produção em volume

De posse da distribuição diamétrica observada, da distribuição diamétrica recuperada pelo sistema selecionado, da equação de altura total selecionada e da equação de múltiplos volumes, pôde-se estimar a produção, observada e predita, total e por classe de diâmetro.

Para analisar as estimativas da produção em volume total e por classe de diâmetro, em diferentes classes de idade, foram empregadas as estatísticas utilizadas por MURPHY e STERNITZKE (1979), isto é:

- Raiz Quadrada do Erro Médio (*RQEM*): $RQEM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i)^2}$
- Média das Diferenças (*MD*): $MD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i)$
- Média das Diferenças Percentuais (*MDP*): $MDP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\hat{V}_i - V_i}{V_i} \right) 100$

em que:

N = número de casos;

\hat{V}_i = volume estimado; e

V_i = volume observado.

Foi avaliada a produção em volume total e por classe de diâmetro, até um diâmetro mínimo de 4 cm. As projeções foram feitas para todas as parcelas, em todas as medições, sendo as análises feitas antes e após o desbaste, considerando diferentes distribuições diamétricas iniciais (distribuição observada), conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Idade atual e idade futura, em meses, utilizadas na projeção da distribuição diamétrica para análise das estimativas da produção em volume por hectare e por classe de diâmetro

Antes do 1 ^o desbaste			Após o 1 ^o desbaste			
27* p/ 40			61* p/ 76			
40 p/ 50	40* p/ 50		76 p/ 87	76* p/ 87		
50 p/ 58	50 p/ 58	50* p/ 58	87 p/ 101	87 p/ 101	87* p/ 101	
			101 p/ 112	101 p/ 112	101 p/ 112	101* p/ 112

* Distribuição diamétrica inicial observada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Capacidade produtiva, altura total e volume por árvore

A tendência de crescimento da altura dominante não se alterou com a aplicação do desbaste (Figura 2a). Assim, foi construído um único feixe de curvas de índice de local, utilizando uma idade-índice de 60 meses (Figura 2b).

Os modelos de altura total, propostos no item 2.2, foram ajustados aos dados de 20 árvores (15 primeiras árvores mais cinco árvores dominantes) por parcela em todas as medições, totalizando 400 dados para o ajuste. As equações, com os respectivos coeficientes de determinação ajustados, foram:

$$\ln Ht = 1,395626 + 0,031478 (S) - 5,251091 (dap)^{-1} + 0,315245 (\ln I), \quad \bar{R}^2 = 0,955 \quad (2)$$

$$Ht = -9,008695 + 0,078778(I) + 0,702332(dap) + 0,640547(S), \quad \bar{R}^2 = 0,920 \quad (3)$$

$$Ht = -50,082731 - 0,053019 (I) + 0,757315 (S) + 8,514866 \ln(I \text{ dap}), \quad \bar{R}^2 = 0,972 \quad (4)$$

$$\ln Ht = 2,576990 - 0,001318 (I) + 0,040767 (Hd) - 5,158434 (dap)^{-1}, \quad \bar{R}^2 = 0,970 \quad (5)$$

$$Ht = -8,981669 + 0,650081 (dap) + 0,220568 (S)(\ln I), \quad \bar{R}^2 = 0,949 \quad (6)$$

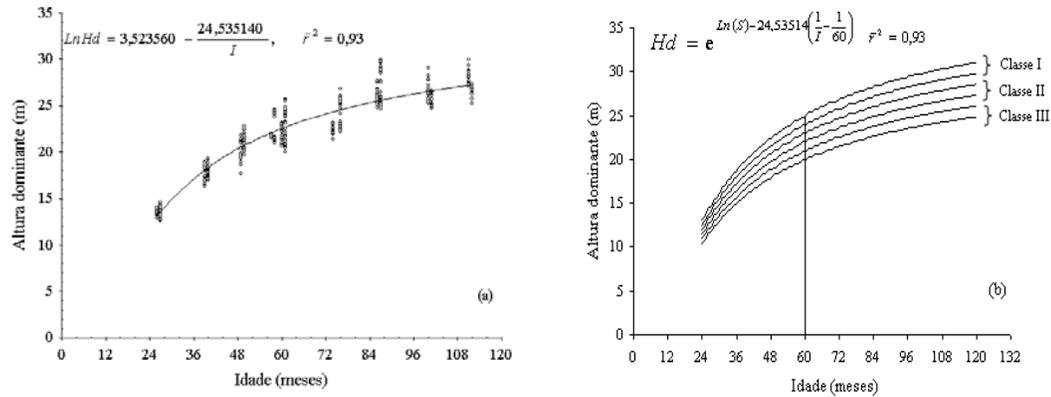


Figura 2 – Comportamento da altura dominante (Hd) observada e estimada ao longo do tempo (a) e curvas de índices de local para povoamento desbastado, com idade-índice de 60 meses (b).

De maneira geral, todos os modelos testados se ajustaram bem aos dados, o que pode ser comprovado pelos altos valores dos coeficientes de determinação ajustados. Entretanto, optou-se pela equação 4 por apresentar melhor distribuição dos resíduos, quando comparada com as demais. A distribuição gráfica dos resíduos da equação 4 é apresentada na Figuras 3a, b. Pode-se observar que as estimativas de altura total foram consistentes para todos os diâmetros.

A equação de múltiplos volumes ajustada aos dados de 277 árvores foi:

$$\hat{V} = 0,000087 (dap)^{1,551523} (Ht)^{1,125578} e^{-2,466217 \left(\frac{Tx}{dap} \right)} \left[1 - \left(\frac{d}{dap} \right)^{1+0,224175(d)} \right], \text{ com}$$

$$R_{\hat{V}} = 0,99$$

De acordo com a estimativa do coeficiente de correlação e com a análise gráfica dos resíduos (Figura 3c, d) pode-se inferir que a equação de múltiplos volumes gerou estimativas consistentes e precisas. Apenas algumas árvores de pequeno porte apresentaram ligeira subestimação do volume real.

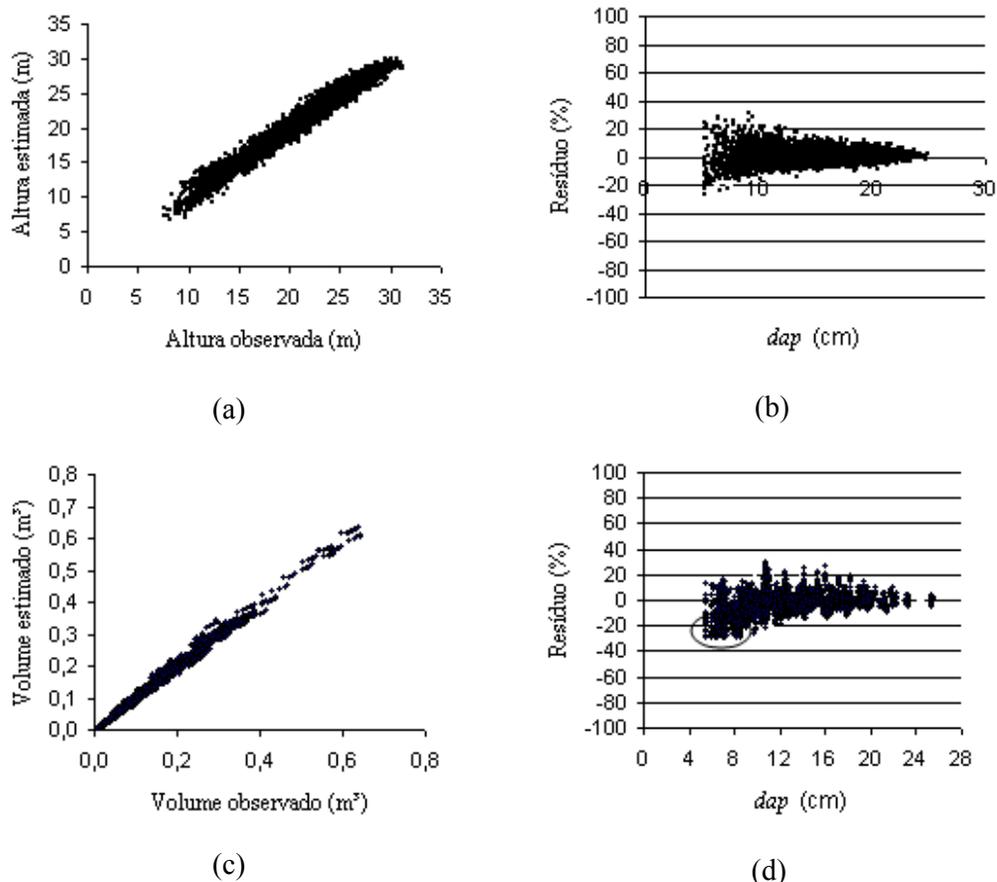


Figura 3 – Valores estimados e observados (a) e distribuição dos resíduos percentuais (b), utilizando a equação: $Ht = -50,082731 - 0,053019(I) + 0,757315(S) + 8,514866Ln(Idap)$; volumes estimados e observados (c); e distribuição gráfica dos resíduos percentuais (d), considerando a equação de múltiplos volumes.

3.2. Frequência diamétrica observada e estimada

A distribuição diamétrica estimada pela função Weibull para cada parcela, em todas as idades, foi comparada com a respectiva distribuição diamétrica observada. Essa análise foi realizada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, em nível de 5% de probabilidade. Os resultados de algumas parcelas (três antes do desbaste e três após o desbaste) selecionadas ao acaso são apresentados na Figura 4. Os resultados foram não-significativos para a maioria das medições e remeidições das parcelas. Somente em algumas parcelas antes do desbaste o teste foi significativo, como, por exemplo, a parcela correspondente ao tratamento 3, bloco 1, repetição 2 da instalação B na idade

40, apresentada na Figura 4. Nesses casos, ajustou-se a função Weibull pelo método de aproximação linear, conforme CAMPOS e LEITE (2002).

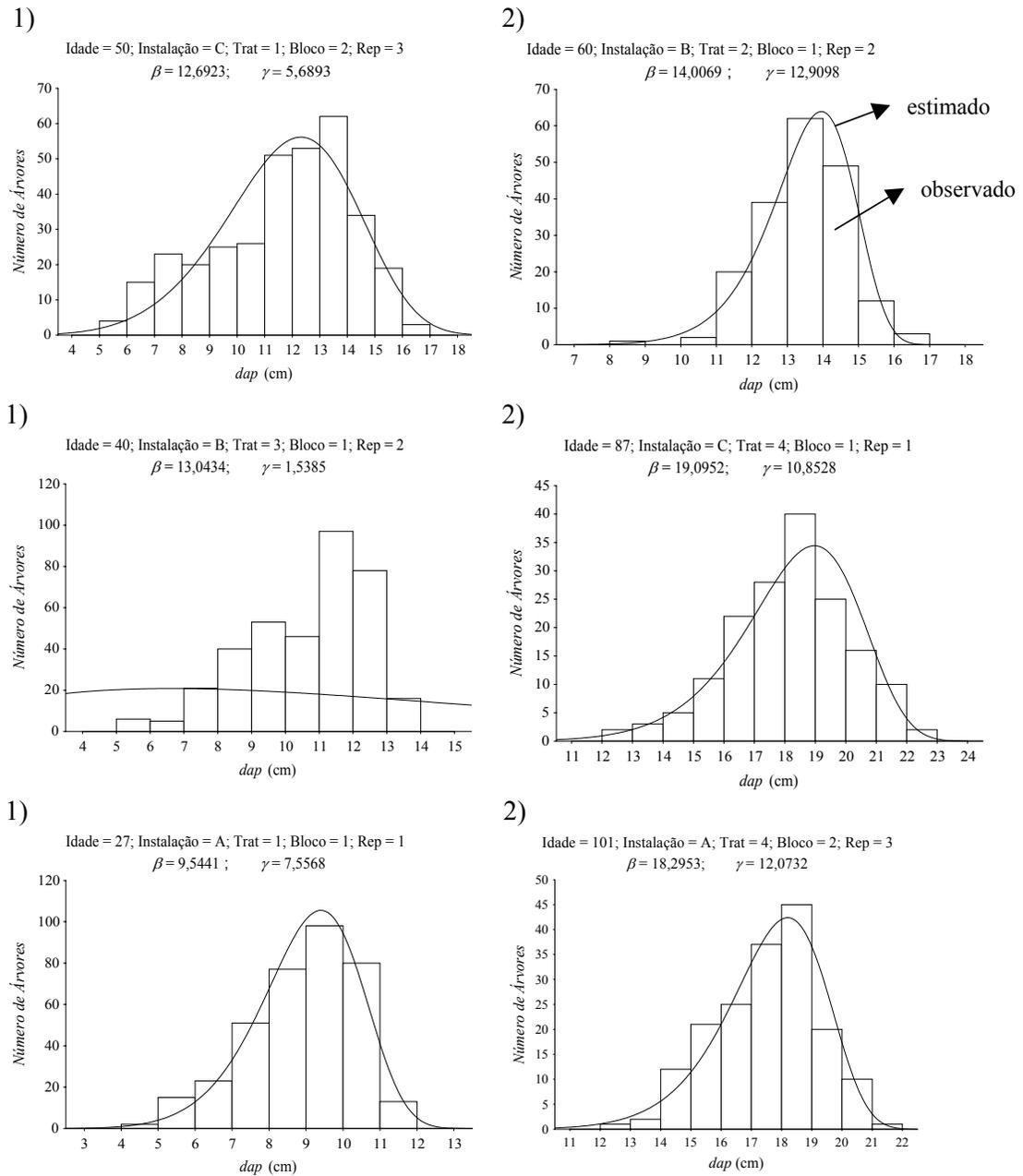


Figura 4 – Frequência observada e estimada pela função Weibull de seis parcelas selecionadas ao acaso, antes (1) e após o desbaste (2).

3.3. Redistribuição teórica dos diâmetros por classe

Os três sistemas de equações selecionados, com as equações ajustadas e os respectivos coeficientes de determinação ajustados ou coeficientes de correlação, foram:

a) Sistema 1

$$dmin_2 = dmin_1 e^{(-0,030451)(I_2^{0,597373} - I_1^{0,597373})}, \quad R_{yy} = 0,983$$

$$Ln\gamma_2 = 0,224294 + 0,032790(dmin_2) + 0,730286(Ln\gamma_1), \quad \bar{R}_{yy}^2 = 0,967$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,037145 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, \quad R_{yy} = 0,959$$

$$\beta_2 = 5,087504 - 0,002351(N_2) + 0,265713(dmax_2) + 0,512024(\beta_1), \quad \bar{R}_{yy}^2 = 0,981$$

$$N_2 = N_1 e^{(-268,7353)(I_2^{0,000015} - I_1^{0,000015})}, \quad R_{yy} = 0,997$$

b) Sistema 2

$$dmin_2 = dmin_1 e^{(-0,006786)(I_2^{0,862014} - I_1^{0,862014})}, \quad R_{yy} = 0,971$$

$$Ln\gamma_2 = Ln\gamma_1 e^{(-111,9299)(I_2^{0,001853} - I_1^{0,001853})}, \quad R_{yy} = 0,980$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,040634 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, \quad R_{yy} = 0,958$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,042851 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2, \quad R_{yy} = 0,982$$

$$N_2 = N_1 e^{(-273,8150)(I_2^{0,000016} - I_1^{0,000016})}, \quad R_{yy} = 0,997$$

c) Sistema 3

$$dmin_2 = dmin_1 e^{(-0,006786)(I_2^{0,862014} - I_1^{0,862014})}, \quad R_{yy} = 0,971$$

$$Ln\gamma_2 = Ln\gamma_1 e^{(-111,9299)(I_2^{0,001853} - I_1^{0,001853})}, \quad R_{yy} = 0,980$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,040634 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, \quad R_{yy} = 0,958$$

$$\beta_2 = 5,264817 - 0,002452 (N_2) + 0,274110 (dmax_2) + 0,493891 (\beta_1), \quad \bar{R}_{yy}^2 = 0,982$$

$$N_2 = N_1 e^{-(273,8150)(t_2^{0,000016} - t_1^{0,000016})}, \quad R_{yy} = 0,997$$

O teste t foi significativo para todos os parâmetros das variáveis independentes em todas as equações dos três sistemas. Todas as equações apresentaram valores altos de coeficientes de determinação ajustados ou de coeficientes de correlação, indicando que as variáveis independentes utilizadas nas equações têm grande influência nas variáveis dependentes. A expressiva correlação entre as variáveis pode ser observada na Figura 5. De acordo com a análise gráfica dos resíduos (Figuras 6 e 7), pôde-se inferir que os três sistemas apresentaram estimativas de β_2 e γ_2 precisas e consistentes. Diante dessas análises, verificou-se que praticamente não houve diferença no grau de ajustamento entre os três sistemas.

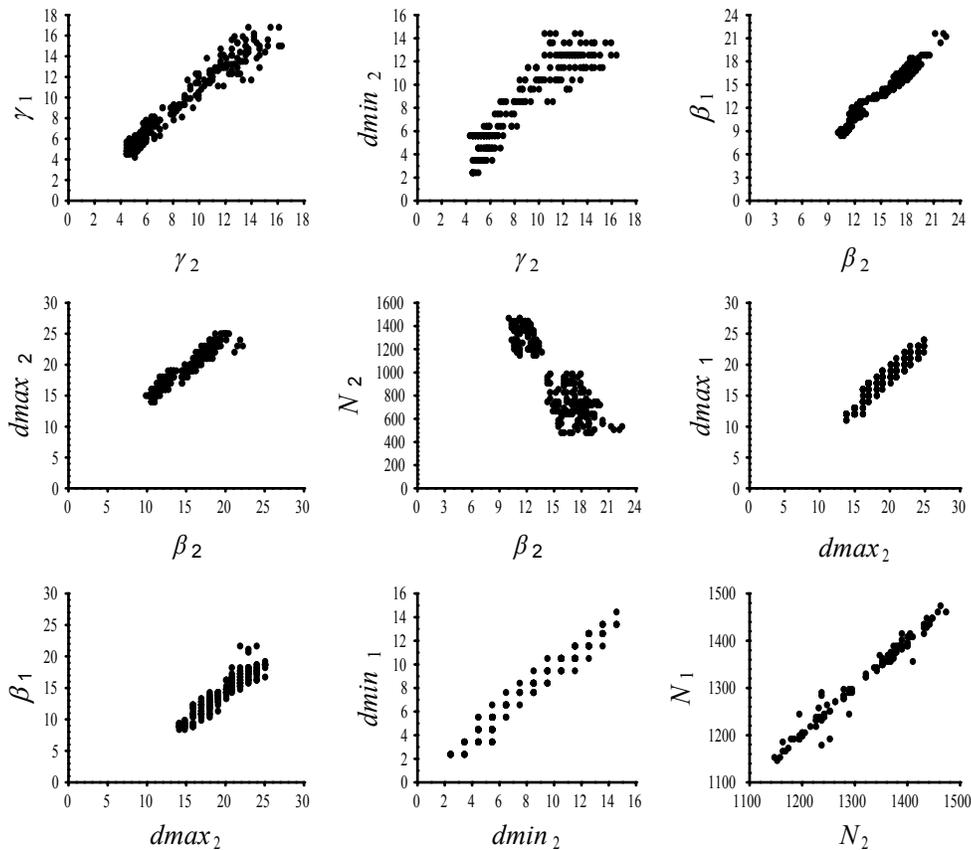


Figura 5 – Relações entre as variáveis dependentes e independentes das equações que compõem os sistemas de predição por classe de diâmetro.

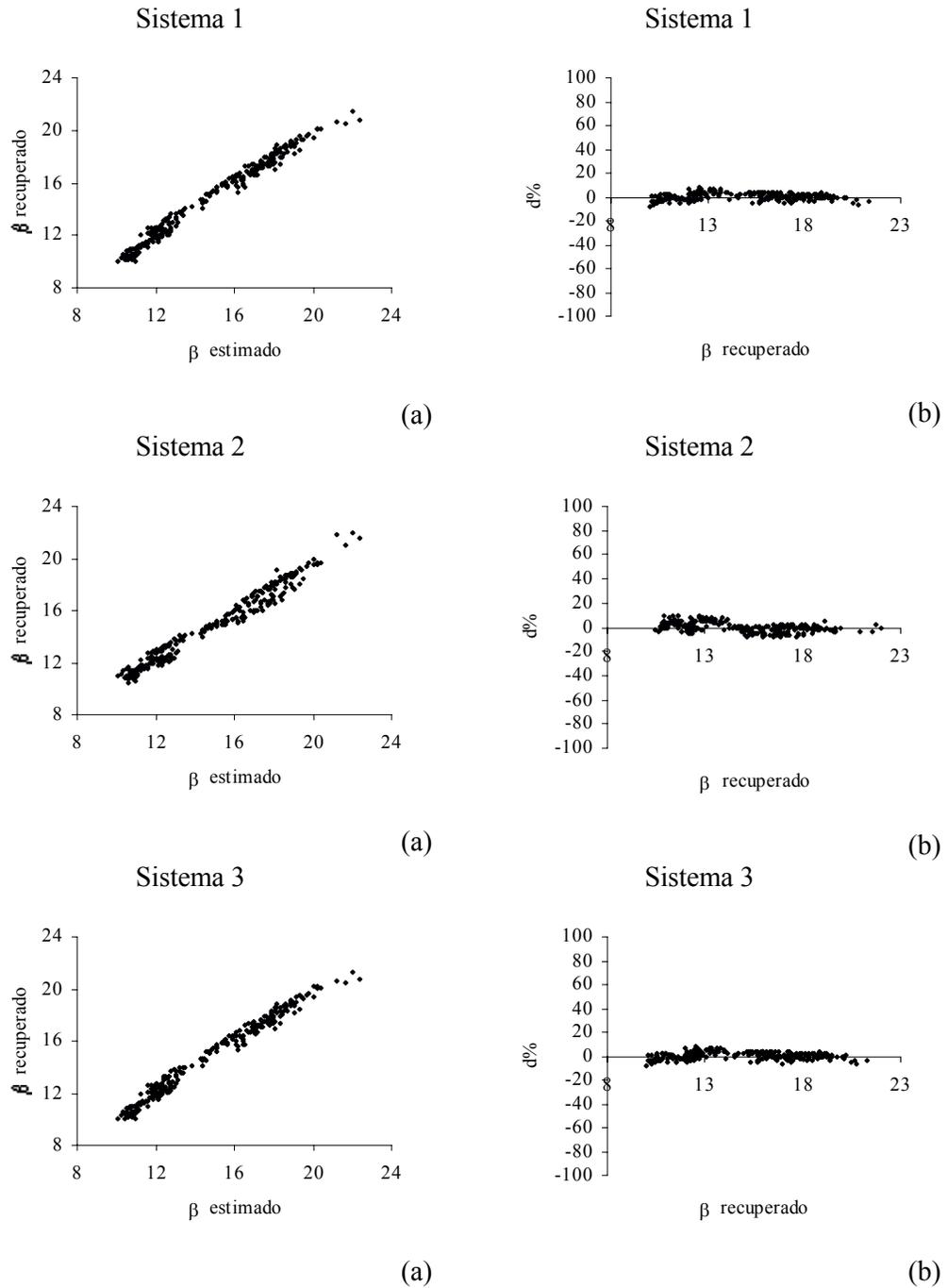


Figura 6 – Valores estimados e recuperados do parâmetro β da função Weibull (a) e distribuição dos desvios percentuais (d%) (b) para os sistemas 1, 2 e 3, sendo $d\% = 100 (\beta \text{ recuperado} - \beta \text{ estimado}) / \beta \text{ estimado}$.

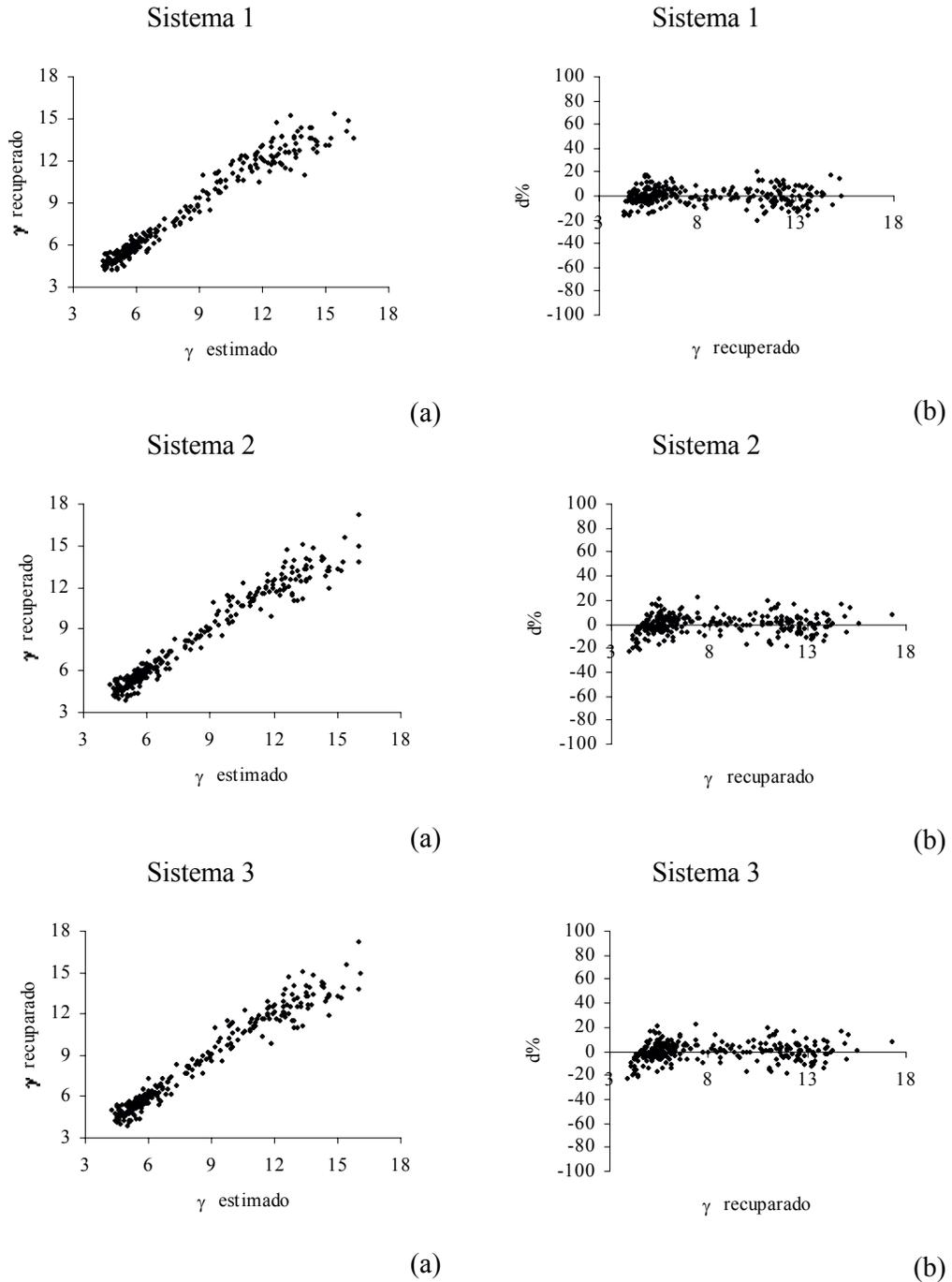


Figura 7 – Valores estimados e recuperados do parâmetro γ da função Weibull (a) e distribuição dos desvios percentuais ($d\%$) (b) para os sistemas 1, 2 e 3, sendo $d\% = 100 (\gamma \text{ recuperado} - \gamma \text{ estimado}) / \gamma \text{ estimado}$.

3.4. Análise de compatibilidade e identidade entre os sistemas

Para analisar a compatibilidade dos sistemas, ou seja, verificar se a distribuição diamétrica projetada do início para o final de um período de tempo era compatível com a distribuição diamétrica projetada ano a ano, empregou-se o teste Qui-quadrado (χ^2), em nível de 1% de probabilidade. O teste foi aplicado antes e após o primeiro desbaste e os resultados são apresentados no Quadro 3. Apenas o sistema 2 foi não-significativo, antes e após o desbaste, ou seja, a hipótese de que a distribuição diamétrica no final do período, projetada de I_1 para I_2 , I_2 para I_3 , . . . , I_{n-1} para I_n , é igual à distribuição diamétrica no final do período, projetada de I_1 para I_n , não foi rejeitada em nível de 1% de probabilidade.

Quadro 3 – Resultado do teste Qui-quadrado (χ^2), aplicado para analisar a compatibilidade dos três sistemas

Sistema	Antes do 1 ^o desbaste (27 para 58 meses)	Após o 1 ^o desbaste (61 para 112 meses)
1	**	**
2	ns	ns
3	**	**

** e ns denotam, respectivamente, significativo e não-significativo a 1 % de probabilidade, pelo teste χ^2 .

Uma outra característica importante relacionada com a consistência dos sistemas para predizer os parâmetros da função Weibull é que somente o sistema 2 garante a seguinte propriedade: quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual. Assim, considerando $I_2 = I_1$ nas equações do sistema 2, tem-se: $dmax_2 = dmax_1$; $\beta_2 = \beta_1$; $\gamma_2 = \gamma_1$ e $N_2 = N_1$. Desse modo, selecionou-se o sistema 2 para predizer os parâmetros (β_2 e γ_2) da função Weibull em uma idade futura (I_2). Para verificar se a distribuição diamétrica projetada por este sistema era estatisticamente igual à distribuição projetada pelo sistema j (j =1 ou 3), empregou-se o teste proposto por LEITE e OLIVEIRA (2002), em nível de 1% de probabilidade. O teste foi realizado considerando a distribuição diamétrica projetada ano a ano e do início para o final de um período de tempo (Quadro 4). A projeção foi realizada a partir da distribuição diamétrica média observada aos 27 meses (antes do primeiro desbaste) e aos 61 meses (após o primeiro desbaste). Na maioria das situações, as distribuições diamétricas foram estatisticamente iguais. Esse resultado, juntamente com os valores dos coeficientes de determinação

ajustados e de correlação, das equações dos sistemas 1 e 3, e com a precisão e consistência indicadas pelas análises gráficas dos resíduos, permitem concluir que os sistemas 1 e 3 (ou alguns modelos desses sistemas) podem ser testados em outras análises e em outros povoamentos desbastados.

Quadro 4 – Identidade entre os sistemas 1, 2 e 3 pelo teste de Leite e Oliveira em nível de 1% de probabilidade

Idade de projeção (meses)	sistema 2 vs. sistema 1	sistema 2 vs. sistema 3
27* para 40	=	≠
40 para 50	=	≠
50 para 58	=	=
61* para 76	=	=
76 para 87	=	=
87 para 101	=	=
101 para 112	=	=
27* para 58	≠	=
61* para 112	≠	=

* Valores observados.

3.5. Avaliação da predição da produção em volume

Para analisar as estimativas da produção em volume, total e por classe de diâmetro, para diferentes idades, foram empregadas as estatísticas: Raiz Quadrada do Erro Médio (*RQEM*), Média das Diferenças (*MD*) e Média das Diferenças Percentuais (*MDP*) (Quadros 5, 6 e 7). Conforme mencionado no item 2.6, projetou-se a distribuição diamétrica de todas as parcelas e em todas as medições, e a análise foi realizada antes e após o primeiro desbaste, considerando diferentes distribuições diamétricas iniciais.

Esperava-se que, quanto menor o intervalo entre as idades de projeção, menores seriam as estatísticas de *RQEM*, *MD* e *MDP*. Ao comparar os valores das estatísticas da projeção de 27 para 58 meses com os valores obtidos da projeção de 40 para 58 meses (Quadro 5), verificou-se que essa expectativa não foi confirmada. Quando comparada com as projeções de 50 para 58 meses, observou-se ligeiro aumento nos valores das estatísticas. Isso pode ser explicado pelo decréscimo da precipitação nesse período (aos 58 meses) constatado na área de estudo, o que modificou a tendência

de crescimento dos povoamentos. Após o desbaste, os valores das estatísticas diminuíram com a diminuição do intervalo entre as idades da distribuição diamétrica observada e a distribuição diamétrica projetada.

Quadro 5 – Estatísticas utilizadas para avaliar a diferença entre a produção em volume total observada e a projetada, antes e após o primeiro desbaste, considerando projeções para diferentes idades, a partir de diferentes distribuições diamétricas observadas

Antes do 1 ^o desbaste																
Idade de projeção (meses)	27* para 58				40* para 58				50* para 58							
	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i>	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i>	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i>				
40	5,46	2,48	2,90	41												
50	11,42	-5,83	-4,11	41	10,1	-8,2	-6,0	41								
58	18,21	11,3	8,51	41	13,9	10,2	7,5	41	17,0	16,6	11,7	41				
Após o 1 ^o desbaste																
Idade de projeção (meses)	61* para 112				76* para 112				87* para 112				101* para 112			
	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i>	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i>	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i>	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i>
76	7,3	4,2	2,8	38												
87	19,4	-18,0	-10,3	38	20,1	-19,4	-10,9	38								
101	17,7	-14,2	-7,6	23	18,1	-16,9	-8,9	23	9,0	7,1	3,6	23				
112	23,1	-16,8	-7,9	23	23,1	-20,4	-9,5	23	11,7	4,9	2,3	23	5,8	-1,2	-0,6	23

* Idade, em meses, da distribuição diamétrica observada; N = número de parcelas.

Antes e após o primeiro desbaste (Quadros 6 e 7), os valores de *RQEM* foram maiores das menores para as maiores classes de diâmetros; nas últimas classes (classes maiores) os valores foram menores. Antes do desbaste (Quadro 6), os valores de *MD* indicam subestimação das estimativas dos volumes nas menores classes de diâmetros e superestimação nas maiores classes; nas classes intermediárias ocorreu, primeiramente, uma superestimação e depois uma subestimação. Após o desbaste (Quadro 7), para as projeções de 61 para 112 meses e 76 para 112 meses, houve inversão nesse resultado, ou seja, superestimação nas menores classes de diâmetros e subestimação nas maiores classes. Para as projeções de 87 para 112 meses e 101 para 112 meses houve superestimação nas classes extremas e subestimação nas classes intermediárias. De acordo com outros resultados encontrados na literatura, essa alternância de subestimação e superestimação das estimativas de volumes nas diferentes classes de diâmetros, pode ser considerada normal nesse tipo de modelo. Antes e após o desbaste, os maiores valores de *MDP* foram obtidos nas maiores classes de diâmetros.

Em algumas parcelas, os valores de *MDP* são relativamente altos para as classes de diâmetros superiores. Isso ocorre quando o número de árvores observado

nessas classes é pequeno. Como os valores observados entram no denominador na fórmula que calcula a diferença percentual (*DP*), o resultado é um valor alto para essa estatística. Para exemplificar, considere a classe de diâmetro de 16,5 cm com um volume comercial médio por árvore, aos 58 meses, de 0,2002 m³; se o número de árvores observado nessa classe for igual a 1 e o número de árvores estimado pelo sistema de equações for igual a 5, a diferença percentual (*DP*) será de:

$$DP = 100 \left(\frac{1,001 - 0,2002}{0,2002} \right) = 400\%.$$

A vantagem de se empregar a média das diferenças percentuais é justamente para detectar essas diferenças. Diante disso, apesar de alguns valores de *MDP* relativamente altos (Quadros 6 e 7), os resultados são aceitáveis. Menores valores de *MDP* foram verificados após o desbaste.

Quadro 6 – Estatísticas utilizadas para avaliar a diferença entre a produção em volume observada e a projetada por classe de diâmetro, antes do primeiro desbaste, considerando projeções para diferentes idades e a partir de diferentes distribuições diamétricas observadas

Idade de projeção (meses)	dap (cm)	27 ^{1/}				40 ^{1/}				50 ^{1/}			
		RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}
40	4,5	0,0	0,0	25,4	12								
40	5,5	0,1	-0,1	-34,2	41								
40	6,5	0,3	-0,1	-6,1	41								
40	7,5	0,6	0,1	17,4	41								
40	8,5	1,1	0,5	20,6	41								
40	9,5	2,6	2,1	35,6	41								
40	10,5	2,6	0,5	5,1	41								
40	11,5	7,4	-6,5	-23,7	41								
40	12,5	8,8	-7,3	-24,9	41								
40	13,5	7,1	6,0	173,5	41								
40	14,5	5,8	5,1	589,9	32								
40	15,5	1,8	1,2	146,5	8								
50	4,5	0,0	0,0	44,7	8	0,0	0,0	12,6	8				
50	5,5	0,1	-0,1	-39,2	41	0,1	-0,1	-41,0	41				
50	6,5	0,3	-0,2	-27,1	41	0,3	-0,2	-26,4	41				
50	7,5	0,6	-0,1	2,9	41	0,5	-0,1	4,2	41				
50	8,5	1,3	0,7	45,8	41	1,2	0,8	48,1	41				
50	9,5	3,5	3,2	103,0	41	3,7	3,4	108,3	41				
50	10,5	4,8	4,3	65,4	41	5,0	4,7	69,7	41				
50	11,5	5,5	4,7	39,4	41	5,7	5,2	42,5	41				
50	12,5	8,1	-6,7	-21,1	41	7,9	-6,5	-20,0	41				
50	13,5	14,8	-13,8	-36,0	41	15,0	-14,1	-36,7	41				
50	14,5	10,0	-7,2	-22,5	41	9,8	-8,0	-27,2	41				
50	15,5	7,3	3,3	187,3	41	5,5	2,3	148,8	41				
50	16,5	4,6	3,1	271,6	32	3,4	2,3	195,2	32				
50	17,5	2,9	1,3	127,9	10	2,8	1,2	110,9	10				
58	5,5	0,2	-0,1	-49,4	41	0,2	-0,1	-52,2	41	0,2	-0,1	-49,9	41
58	6,5	0,5	-0,4	-43,0	41	0,5	-0,4	-44,2	41	0,4	-0,4	-42,3	41
58	7,5	0,8	-0,5	-18,3	41	0,7	-0,5	-19,4	41	0,6	-0,4	-20,2	41
58	8,5	1,2	0,0	17,9	41	1,0	0,0	16,4	41	0,9	0,0	12,7	41
58	9,5	2,3	1,8	66,1	41	2,3	1,9	66,7	41	1,9	1,7	56,4	41
58	10,5	3,1	2,3	38,8	41	3,0	2,5	39,9	41	2,3	1,9	30,9	41
58	11,5	4,0	2,7	28,2	41	3,9	2,9	29,3	41	3,0	1,8	19,9	41
58	12,5	10,1	-8,4	-25,2	41	9,8	-8,1	-24,4	41	10,9	-9,5	-29,6	41
58	13,5	13,7	-12,7	-32,5	41	13,5	-12,5	-31,8	41	14,8	-13,8	-35,0	41
58	14,5	10,4	-4,4	-7,1	41	9,7	-4,4	-7,8	41	9,4	-4,6	-8,6	41
58	15,5	14,2	9,3	445,3	41	13,0	9,1	419,8	41	13,5	10,5	451,0	41
58	16,5	11,2	9,2	788,0	34	10,3	9,1	723,5	34	12,3	11,9	848,9	34
58	17,5	6,6	5,3	362,8	17	6,7	5,9	357,6	17	11,3	10,9	645,6	17

^{1/} Idade, em meses, da distribuição diamétrica inicial observada.

^{2/} Número de parcelas com volume observado nas classes de diâmetros indicadas.

Quadro 7 – Estatísticas utilizadas para avaliar a diferença entre a produção em volume observada e a projetada por classe de diâmetro, após o primeiro desbaste, considerando projeções para diferentes idades e a partir de diferentes distribuições diamétricas observadas

Idade de projeção (meses)	dap (cm)	61 ^{1/}				76 ^{1/}				87 ^{1/}				101 ^{1/}			
		RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}
76	9,5	0,3	0,0	-6,6	25												
76	10,5	0,9	0,3	48,5	18												
76	11,5	1,3	0,5	63,8	27												
76	12,5	3,1	-1,1	8,2	37												
76	13,5	5,0	-3,3	-7,5	38												
76	14,5	8,0	-5,6	-17,8	38												
76	15,5	9,1	2,6	11,8	38												
76	16,5	8,9	2,0	16,1	38												
76	17,5	8,2	2,9	83,0	36												
76	18,5	8,6	3,3	56,0	24												
76	19,5	8,1	5,1	273,4	17												
87	9,5	0,3	0,0	-9,2	21	0,4	0,1	1,3	22								
87	10,5	0,7	0,3	61,0	12	0,8	0,5	84,5	12								
87	11,5	1,5	0,9	138,7	19	1,7	1,1	158,6	19								
87	12,5	2,3	1,5	124,2	31	2,6	1,7	125,9	31								
87	13,5	4,1	2,7	172,8	35	4,3	3,1	154,3	35								
87	14,5	6,5	5,3	103,8	38	6,9	5,7	91,0	38								
87	15,5	11,9	9,7	82,0	38	12,1	9,9	79,2	38								
87	16,5	10,3	4,0	23,8	38	10,9	3,7	22,6	38								
87	17,5	13,8	-6,8	-12,4	38	16,0	-7,1	-12,2	38								
87	18,5	20,1	-17,4	-47,6	38	20,3	-18,0	-49,5	38								
87	19,5	15,0	-11,0	-35,6	33	15,7	-12,8	-44,4	34								
87	20,5	11,8	-8,2	-47,0	18	12,8	-10,0	-53,9	17								
87	21,5	4,5	0,0	18,7	18	5,3	0,2	40,4	15								
101	9,5	0,3	0,0	-20,1	15	0,3	0,0	-4,5	15	0,3	0,0	-5,9	14				
101	10,5	0,6	0,1	47,3	10	0,7	0,3	69,4	10	0,4	0,1	27,2	10				
101	11,5	1,1	0,5	75,2	10	1,2	0,8	91,2	10	0,9	0,3	36,7	10				
101	12,5	1,6	0,9	110,1	19	1,8	1,3	110,0	19	1,3	0,2	24,6	19				
101	13,5	3,2	1,4	145,5	21	3,2	1,9	140,2	21	2,5	-0,6	23,7	21				
101	14,5	4,6	2,8	93,6	23	4,7	3,6	91,3	23	3,5	-1,5	-1,7	23				
101	15,5	9,1	7,4	102,6	23	10,2	8,3	96,4	23	4,2	-0,4	10,8	23				
101	16,5	9,2	5,6	31,0	23	9,6	6,1	32,0	23	6,8	-4,7	-15,4	23				
101	17,5	9,8	0,1	7,6	23	11,2	-0,6	6,3	23	10,7	-6,1	-12,2	23				
101	18,5	15,1	-12,3	-24,2	23	17,9	-14,0	-28,1	23	10,0	-5,1	-8,8	23				
101	19,5	14,7	-8,7	-19,2	23	13,7	-10,6	-33,0	23	12,9	10,5	56,3	23				
101	20,5	14,3	-8,9	-42,1	21	14,7	-10,0	-62,1	21	11,0	8,6	119,5	21				
101	21,5	5,2	-2,9	-27,0	12	4,7	-1,2	2,9	7	6,2	1,8	92,2	28				
112	10,5	0,4	0,1	5,1	21	0,5	0,2	24,9	21	0,4	0,1	13,7	20	0,3	0,1	6,9	21
112	11,5	1,0	0,1	54,6	10	1,0	0,4	72,4	10	1,0	0,0	28,1	10	0,9	0,1	46,9	10
112	12,5	1,6	0,6	90,7	17	1,8	0,9	104,8	17	1,5	0,2	31,9	17	1,5	0,4	48,8	17
112	13,5	2,3	0,7	60,6	16	2,3	1,3	63,5	16	2,1	-0,6	-0,7	16	1,9	0,0	14,5	16
112	14,5	3,9	2,3	114,4	22	3,9	3,0	110,1	22	2,8	-0,6	18,6	22	2,4	0,2	28,1	22
112	15,5	7,3	5,8	109,1	23	8,2	6,8	106,4	23	3,8	0,4	24,1	23	4,2	1,7	35,3	23
112	16,5	10,4	7,0	76,4	23	11,0	8,1	74,7	23	6,1	-1,4	6,3	23	5,8	0,6	15,5	23
112	17,5	10,4	3,7	23,3	23	10,7	4,1	24,4	23	9,2	-5,4	-11,8	23	7,9	-	-6,4	23
112	18,5	13,5	-5,9	-5,0	23	15,5	-7,0	-6,5	23	14,7	-9,2	-14,9	23	13,0	-	-13,8	23
112	19,5	10,3	-5,2	-9,9	23	12,6	-7,5	-17,1	23	9,1	4,1	14,4	23	8,9	2,0	7,9	23
112	20,5	16,3	-10,3	-19,0	22	15,8	-12,7	-43,8	22	12,1	8,5	66,8	22	8,1	3,5	25,3	22
112	21,5	17,0	-10,3	-21,9	20	17,3	-11,8	-50,7	20	11,9	6,1	130,1	20	5,9	1,9	44,3	20
112	22,5	8,1	-3,9	-7,2	13	10,6	-5,2	-6,2	11	8,4	-0,9	58,2	32	7,1	-	8,9	31
																	2,0

^{1/} Idade, em meses, da distribuição diamétrica inicial observada.

^{2/} Número de parcelas com volume observado nas classes de diâmetros indicadas.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados e com referência ao sistema de equações 2, pôde-se concluir que o modelo desenvolvido neste estudo é consistente e compatível, sendo indicado para uso em manejo de florestas de eucalipto submetidas a desbaste.

Distribuições diamétricas futuras devem ser projetadas em função de distribuições observadas em uma idade atual.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAILEY, R. L. Individual tree growth derived from diameter distribution models. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 626-632, 1980.

BAILEY, R. L.; ABERNETHY, N. C.; JONES, E. P. Diameter distributions models for repeatedly thinned slash pine plantations. In: BIENNIAL SOUTH. SILVICUTURE. RESEARCH CONFERENCE, 1, 1980, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: USDA, 1981. p. 115-126. (General Technical Report, SO-34).

BAILEY, R. L.; WARE, K. D. Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 13, n. 4, p. 563-571, 1983.

BUCKMAN, R. E. **Growth and yield of red pine in Minnesota**. Washington, D.C: USDA, 1962. 50 p. (Technical Bulletin, 1272).

BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for loblolly pine**. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1981. 59 p. (Publ., FWS-2).

BURKHART, H. E.; SPRINZ, P. T. Compatible cubic volume and basal area projection equations for thinned old-field loblolly pine plantations. **Forest Science**, v. 30, n. 1, p. 86-93, 1984.

CAMPOS, J. C. C. **A growth and yield study in thinned, even-aged stands of *Pinus patula* in Brasil**. 1979. 143 f. Thesis (Ph. D.) – University of Washington, Seattle, Washington, 1979.

CAMPOS, J. C. C.; CAMPOS, A. L. A. S.; LEITE, H. G. Decisão silvicultural empregando um sistema de predição do crescimento e da produção. **Revista Árvore**, v. 12, n.2, p. 100-110, 1988.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: Editora UFV, 2002. 407 p.

CAMPOS, J. C. C.; ROSAS, M. P.; LEITE, H. G. Comparação de alternativas de determinação da idade técnica de corte em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 20, n.1, p. 37-49, 1996.

CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. **Revista Árvore**, v. 5, n. 1, p. 1-16, 1981.

CAO, Q. V.; BURKHART, H. E.; LEMIN JUNIOR, R. C. **Diameter distributions and yields of thinned loblolly pine plantations**. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1982. 62 p. (Publ., FWS-1).

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest Science**, v.9, n.3, p.354-371, 1963.

CLUTTER, J. L.; BENNETT, F. A. **Diameter distributions in old-field slash pine plantations**. [Macon, GA]: Georgia Forest Research Council, 1965. 9 p. (Report, 13).

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

CLUTTER, J. L.; JONES, E. P. **Prediction of growth after thinning in old-field slash pine plantations**. Asheville: USDA, 1980. 14 p. (Research Paper, SE-217).

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes**. 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. 1994. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

KNOEBELL, B. R.; BURKHART, H. E.; BECK, D. E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar. **Forest Science** (monograph, 27), v. 32, n. 2, 62 p., 1986.

LEITE, H. G. **Ajuste de um modelo de estimação de frequência e produção por classe de diâmetro, para povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith**. 1990. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, v. 19, n.1, p. 65-79, 1995.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. L. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, issue 7 e 8, 2002.

LEVELS-OF-GROWING-STOCK cooperative study in Douglas-fir. Victoria, BC: Natural Resources Canada; Canadian Forest Service e Pacific Forestry, 2002. p. 4. (Information forestry).

MATNEY, T. G.; SULLIVAN, A. D. Compatible stand and stock tables for thinned and unthinned loblolly pine stands. **Forest Science**, v. 28, n. 1, p. 161-171, 1982.

MURPHY, P. A.; STERNITZKE, H. S. **Growth and yield estimation for loblolly pine in the West Gulf**. New Orleans, La: USDA, 1979. 8 p. (Research Paper, SO-154).

PECE DE RIOS, M. G. D. V. **Um modelo de crescimento e produção aplicado a plantações de *Eucalyptus pellita***. 1993. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

PIENAAR, L. V. **Quantitative theory of forest growth**. 1965. 191 f. Thesis (Ph. D.) – University of Washington, Seattle, Washington, 1965.

PIENAAR, 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.

PIENAAR, L. V.; HARRISON, W. M. A stand table projection approach to yield prediction in unthinned even-aged stands. **Forest Science**, v. 34, n. 3, p. 804-808, 1987.

PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. Survival functions for site prepared slash pine plantations in the flat woods of Georgia Northern Florida. **Southern Journal Forestry**, v. 5, n. 2, p. 59-62, 1981.

PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. An analysis and models of basal area growth in 45-year-old unthinned and thinned slash pine plantation plots. **Forest Science**, v. 30, n. 4, p. 933-942, 1984.

PIENAAR, L. V.; TURNBULL, K. J. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. **Forest Science**, v. 19, p. 2-22, 1973.

RUSTAGI, K. P. **Predicting stand structure in even-aged stands**. In: GROWTH MODELS FOR LONG TERM FORECASTING OF TIMBER YIELDS, 1977, Blacksburg. **Proceeding...** [S.L]: IUFRO, [1977]. p.1-16.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Ciência Florestal**, n. 50, p. 51-64, 1996.

SILVA, A. A. L. **Emprego de modelos de crescimento e produção em análise econômica de decisões de manejo florestal**. 2001. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

STRUB, M. R.; FEDUCCIA, D. P.; BALDWIN JUNIOR, V. C. A diameter distribution method useful in compatible growth and yield modeling of thinned stands. In: BIENNIAL SOUTH. SILVICUTURE RESEARCH CONFERENCE, 1, 1980, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: USDA, 1981. p.115-126 (General Technical Report, SO-34).

SULLIVAN, A. D.; CLUTTER, J. L. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine. **Forest Science**, v.18, n. 1, p. 76-86, 1972.

TREVIZOL JUNIOR, T. L. **Análise de um modelo compatível de crescimento e produção em plantações de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. 1985. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

**AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA
AJUSTADO PARA POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* sp. SUBMETIDOS A
DESBASTE**

RESUMO – O principal objetivo deste estudo foi avaliar as estimativas geradas pelo modelo proposto no Capítulo 1, sob o ponto de vista biológico. Também foi objetivo avaliar a eficiência do método dos ingressos percentuais para determinação da idade técnica do primeiro e do segundo desbaste em plantação de eucalipto. A análise qualitativa do modelo consistiu em avaliar os resultados obtidos pelo método dos ingressos percentuais, o comportamento das distribuições diamétricas projetadas para idades futuras e o comportamento da distribuição remanescente, após algumas simulações de desbaste, sob o ponto de vista da teoria, da lógica e do realismo biológico. De acordo com os resultados, pôde-se inferir que o modelo de distribuição diamétrica proposto é biologicamente correto e consistente. A estagnação do crescimento é mais rápida após o desbaste. Concluiu-se, ainda, que o método dos ingressos percentuais é adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste. O modelo avaliado permite simular diferentes cenários, gerando estimativas consistentes, podendo ser aplicado sem restrições, ou seja, podem ser simulados cenários que contemplem, ou não, as condições observadas no campo.

Palavras-chave: eucalipto, modelo de distribuição diamétrica, desbaste, método dos ingressos percentuais e avaliação de modelo.

**EVALUATION OF THE ADJUSTED DIAMETRIC DISTRIBUTION MODEL
FOR THINNED *Eucalyptus* sp. STANDS**

ABSTRACT – The main objective of the study was to evaluate the estimates generated by the model proposed in Chapter 1, under the biologic point of view. Another objective was to evaluate the efficiency of the percentage of entries method to determine the technical age for the first and second thinning in eucalypt stands. The qualitative evaluation of the model was made through the evaluation of the results obtained by the percentage of entries method, the behavior of the diametric distributions projected for the future and the behavior of the remaining distributions after some thinning simulations, theoretically, logically and biologically speaking. According to the results it was concluded that the diametric distribution model proposed is biologically correct

and consistent. The growth stagnation is foster after thinning. Also it was concluded that the percentage of entries method is suitable to determine the technical age for the first and second thinning. The model evaluated allows the simulation of various situations, generating consistent estimates and it can be used without restrictions, that is, situations can be simulated with or without the conditions observed in the field.

Key words: eucalypt, diametric distribution model, thinning, percentage of entries method and model evaluation.

1. INTRODUÇÃO

Um modelo de crescimento e produção deve representar a realidade do sistema ou fenômeno considerado. Sua avaliação compreende interpretações de ordem qualitativa, que trata de aspectos como o realismo biológico do modelo, e de ordem quantitativa, que trata de testes estatísticos e comparação de predições com observações independentes (SOARES et al., 1995; CAMPOS e LEITE, 2002). Dentre os modelos clássicos de crescimento e produção, os de distribuição diamétrica são mais adequados para analisar desbaste, uma vez que possibilitam a avaliação econômica de multiprodutos, além de serem bem mais flexíveis (BURKHART et al., 1981). Em função desse argumento, no Capítulo 1 foi proposto um modelo de distribuição diamétrica utilizando dados de povoamentos desbastados de eucalipto. O referido modelo foi testado e avaliado do ponto de vista quantitativo. No entanto, o modelo não foi avaliado biologicamente, sendo necessário testar a seguinte hipótese H_0 : as estimativas geradas pelo modelo proposto no Capítulo 1 seguem uma tendência lógica esperada do ponto de vista biológico? O principal objetivo deste estudo foi avaliar esta hipótese. Também foi objetivo avaliar a eficiência do método dos ingressos percentuais para determinação da idade técnica do primeiro e do segundo desbaste em plantação de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Modelo de distribuição diamétrica

O modelo de distribuição diamétrica, definido no Capítulo 1, e utilizado neste estudo, foi:

$$dmin_2 = dmin_1 e^{(-(-0,006786)(I_2^{0,862014} - I_1^{0,862014}))}, \quad R_{yy} = 0,971 \quad (1)$$

$$Ln\gamma_2 = Ln\gamma_1 e^{(-(-111,9299)(I_2^{0,001853} - I_1^{0,001853}))}, \quad R_{yy} = 0,980 \quad (2)$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,040634 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, \quad R_{yy} = 0,958 \quad (3)$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,042851 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2, \quad R_{yy} = 0,982 \quad (4)$$

$$\text{Antes do desbaste: } N_2 = N_1 e^{(-(-273,8150)(I_2^{0,000016} - I_1^{0,000016}))}, \quad R_{yy} = 0,997 \quad (5)$$

Após o desbaste: $N_2 = N_1$,

em que:

I_2 = idade futura, em meses;

I_1 = idade atual, em meses;

γ_2 = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade futura;

γ_1 = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade atual;

β_2 = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade futura;

β_1 = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade atual;

$dmax_2$ = diâmetro máximo em uma idade futura, em cm;

$dmax_1$ = diâmetro máximo em uma idade atual, em cm;

$dmin_2$ = diâmetro mínimo em uma idade futura, em cm;

$dmin_1$ = diâmetro mínimo em uma idade atual, em cm;

N_2 = número de árvores por ha em uma idade futura;

N_1 = número de árvores por ha em uma idade atual; e

Ln = logaritmo neperiano.

A forma geral da função Weibull é:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma} & , \text{ para } \alpha \leq x < \infty \\ 0, & \text{ para outros valores de } x \end{cases} \quad (6)$$

em que:

α = parâmetro de locação;

β = parâmetro de escala;

γ = parâmetro de forma; e

x = centro da classe de diâmetro, sendo $x \geq 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$.

O limite superior da distribuição teórica dos diâmetros por classe foi determinado pela estimativa do diâmetro máximo, acrescentada de duas classes de diâmetro. Assim, se o diâmetro máximo estimado for de 19,3 cm, o ponto de truncamento da distribuição à direita será na classe de 21,5 cm. Essa decisão foi tomada com base em vários testes realizados preliminarmente; verificou-se que tal decisão resulta em estimativas mais precisas da produção total por unidade de área. O diâmetro máximo foi estimado pela equação do $dmax_2$ (equação 3). Considerou-se como limite inferior da distribuição o diâmetro mínimo do povoamento. Para projetar esse limite para idades futuras empregou-se a equação do $dmin_2$ (equação 1).

Cabe observar que o sistema não considera mortalidade após o desbaste, o que satisfaz um dos objetivos deste tratamento silvicultural, que é a eliminação da mortalidade natural das árvores. Antes do desbaste foi utilizado um modelo proposto PIENAAR e SCHIVER (1981) para estimar a sobrevivência.

Também fazem parte do modelo as seguintes equações:

$$LnHd = 3,523560 - 24,535140 (I)^{-1}, \quad \bar{r}^2 = 0,93 \quad (7)$$

$$Ht = -50,082731 - 0,053019 (I) + 0,757315 (S) + 8,514866 Ln(Idap), \quad \bar{R}^2 = 0,972 \quad (8)$$

$$\hat{V} = 0,000087 (dap)^{1,551523} (Ht)^{1,125578} e^{-2,466217 \left(\frac{Tx}{dap}\right)} \left[1 - \left(\frac{d}{dap}\right)^{1+0,224175(d)} \right], \quad R_{vw} = 0,99 \quad (9)$$

em que:

Hd = altura dominante, em m;

I = idade, em meses;

Ht = altura total da árvore, em m;

dap = diâmetro a 1,30 m de altura, em cm;

S = índice de local;

\hat{V} = volume comercial com e sem casca por árvore, em m³;

Tx = variável binária, sendo $Tx = 0$ para volume com casca e $Tx = 1$ para volume sem casca; e

d = diâmetro mínimo comercial.

Os dados utilizados para ajustar o modelo pertencem a um experimento sobre desbastes, instalado em povoamentos do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, na empresa COPENER FLORESTAL, na região nordeste do Estado da Bahia. As medições foram realizadas aos 27, 40, 50, 58, 61, 76, 87, 101 e 112 meses, em 48 parcelas permanentes retangulares, com área útil de aproximadamente 2.600 m². O primeiro desbaste foi feito aos 58 meses, considerando-se diferentes porcentagens de redução da área basal (redução de 20, 35 e 50% na área basal presente, removendo os piores indivíduos).

2.2. Projeção da distribuição diamétrica e idade técnica de desbaste

A projeção da distribuição diamétrica foi realizada a partir de uma distribuição em uma idade atual (I_1) para uma idade futura (I_2), partindo-se de uma distribuição inicial observada. O povoamento florestal antes do desbaste é distinto do povoamento após o desbaste, ou seja, após o desbaste o povoamento apresenta novas tendências de crescimento e produção. Portanto, considerou-se uma distribuição diamétrica inicial observada antes do primeiro desbaste e outra após o desbaste.

O momento ótimo de desbastar foi determinado empregando-se o Método dos Ingressos Percentuais (MIP), proposto por GARCIA (1999) e utilizado por NOGUEIRA et al. (2001). Esse método consiste na análise da dinâmica de crescimento e na avaliação do ingresso das árvores em sucessivas classes de diâmetro.

O ingresso percentual (IP) das árvores em sucessivas classes de diâmetros foi calculado através da diferença entre distribuições de diâmetros em duas ocasiões diferentes ($F(X_2) - F(X_1)$), utilizando um aplicativo específico, codificado em linguagem Pascal, desenvolvido por GARCIA (1999). O aplicativo fornece os ingressos percentuais, utilizando como *inputs* o número de árvores e as estimativas dos parâmetros da função Weibull, nas idades sucessivas. Os valores de $F(X_i)$ foram obtidos

utilizando a forma acumulativa da função Weibull: $F(x_i) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma}$.

De acordo com o MIP, a idade técnica do desbaste ocorre quando o ingresso de árvores em sucessivas classes de diâmetros não for mais significativo. Para

determinar esta idade foi empregado o modelo expolinear (GOUDRIAAN, 1994), cuja relação funcional é:

$$IPM = \frac{\theta_1}{\theta_2} Ln [1 + e^{\theta_2(I-ITD)}] + \varepsilon,$$

em que:

IPM = ingresso percentual médio mensal de árvores;

IP = ingresso percentual de árvores;

I = idade do povoamento, em meses;

θ_1 = parâmetro que indica o crescimento máximo absoluto do ingresso percentual de árvores na fase linear da curva;

θ_2 = parâmetro que indica o crescimento máximo relativo do ingresso percentual de árvores na fase exponencial da curva;

ITD = parâmetro que corresponde à idade técnica de desbaste; e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

O ingresso percentual médio mensal (*IPM*) foi empregado para que as fases, linear e exponencial, fossem bem caracterizadas e, assim, facilitar o ajuste do modelo expolinear. O modelo foi ajustado através de regressão não-linear, utilizando o procedimento iterativo Quasi-Newton. O *IPM* foi obtido dividindo-se o Ingresso Percentual (*IP*) (NOGUEIRA et al., 2001) pela idade da segunda ocasião (*I*₂).

A idade técnica do primeiro e do segundo desbaste foi determinada para diferentes classes de produtividade. No segundo desbaste consideraram-se também diferentes porcentagens de redução de área basal.

2.3. Simulação de desbastes

Para avaliar a flexibilidade do modelo foram simulados desbastes em diferentes idades, com diferentes porcentagens de redução da área basal, em locais com capacidades produtivas diferentes e para diferentes usos da madeira. A simulação foi realizada considerando a distribuição média dos diâmetros na idade técnica do primeiro desbaste. Para isso, projetou-se a distribuição dos diâmetros da última medição antes do desbaste para a idade recomendada por meio do MIP.

Foi simulada a colheita de árvores, com base na redução da área basal, nas classes de diâmetros inferiores (desbaste seletivo). As áreas basais das árvores colhidas foram computadas e somadas até atingir a porcentagem de redução de área basal

desejada. Dessa forma, em uma determinada classe, apenas parte do número de árvores poderá ser colhida, já que a porcentagem de redução desejada poderá ser atingida. Simulou-se, também, a colheita de árvores em todas as classes de diâmetros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Desempenho do modelo de distribuição diamétrica

Para mostrar o desempenho do modelo de distribuição diamétrico, foi elaborada a Figura 1. Considerou-se a distribuição média dos diâmetros em cada idade de medição. Nessa figura, *Nobs* corresponde à distribuição diamétrica observada, *Nest* à distribuição diamétrica obtida por meio das estimativas dos parâmetros da função Weibull e *Nrec* à distribuição diamétrica obtida por meio dos parâmetros da função Weibull, recuperados através do sistema de equações. A redistribuição ou recuperação da distribuição diamétrica foi realizada de I_1 para I_2 , a partir de uma distribuição diamétrica inicial observada, sendo considerada a distribuição média aos 27 meses (antes do desbaste) e aos 61 meses (após o desbaste) como iniciais (I_1).

Observou-se que em todas as idades a redistribuição do número de árvores por classe de diâmetros foi precisa, quando comparada com a distribuição estimada pela função Weibull. Quando comparada com a distribuição observada, a redistribuição teórica dos diâmetros por classe (*Nrec*) foi mais precisa após o desbaste, ou seja, nas idades de 76, 87, 101 e 112 meses. Isso ocorreu porque as distribuições observadas após o desbaste apresentaram uma configuração que coincide com as condições ideais para o ajuste da função Weibull. Mesmo assim, as redistribuições das distribuições diamétricas antes do desbaste foram consideradas satisfatórias (Figura 1). Pode-se inferir que o sistema é compatível e garante a propriedade de que, quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1) a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual.

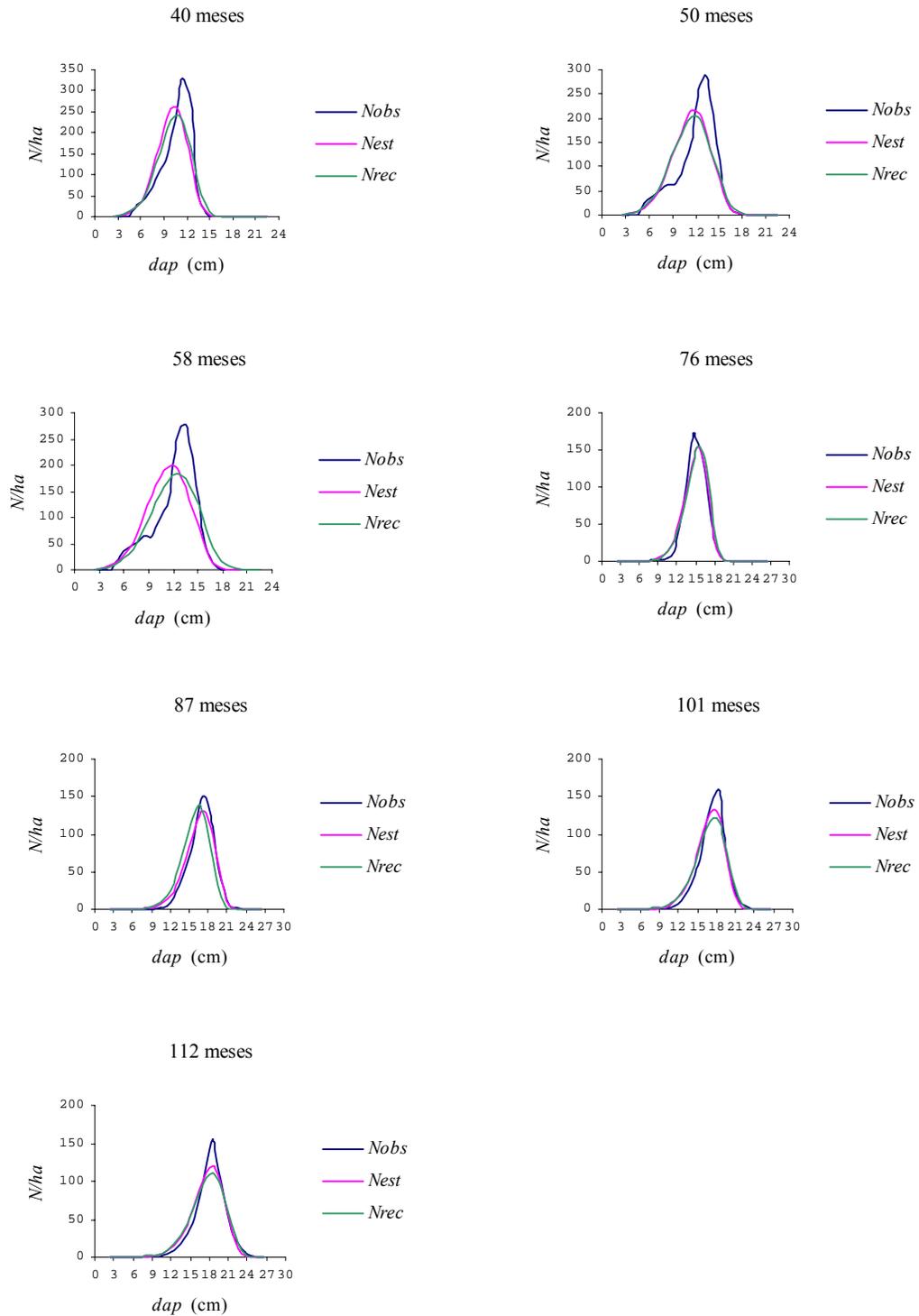


Figura 1 – Número de árvores por classe de diâmetro observado (N_{obs}), estimado pela função Weibull (N_{est}) e recuperado pelo modelo de distribuição diamétrica (N_{rec}), nas idades em que as parcelas foram medidas.

3.2. Projeção da distribuição diamétrica

As médias dos valores das variáveis dependentes das equações que compõem o modelo de distribuição diamétrica são apresentadas no Quadro 1. Para calcular essas médias é necessário, em primeiro lugar, calcular a distribuição média dos diâmetros observada e determinar o diâmetro máximo, o diâmetro mínimo e o número de árvores desta distribuição, em seguida, estimar os parâmetros da função Weibull através dos dados da distribuição observada média.

Quadro 1 – Valores médios observados das variáveis dependentes das equações que compõem o modelo de distribuição diamétrica para povoamento de eucalipto desbastado aos 58 meses de idade

<i>Idade</i> (meses)	<i>dmax</i> (cm)	<i>dmin</i> (cm)	β	γ	<i>N</i>
27	13	2,5	9,089	6,523	1307
40	16	2,5	10,800	5,908	1304
50	18	2,5	12,298	5,529	1304
58	19	5,5	12,346	5,034	1308
61	19	6,5	14,404	10,549	699
76	21	6,5	15,673	9,490	699
87	23	7,5	17,519	8,938	699
101	23	8,5	17,865	9,106	716
112	25	8,5	18,773	8,575	716

Um exemplo de projeção das estimativas de *dmax*, *dmin*, β , γ e *N* para idades avançadas, antes e após o primeiro desbaste, é apresentado no Quadro 2. Antes do primeiro desbaste, considerou-se a idade 27 como I_1 . Assim, β_1 foi igual 9,089, γ_1 igual a 6,523, $dmax_1$ igual a 13, $dmin_1$ igual a 2,5 e N_1 igual a 1.307. De posse desses valores observados, projetaram-se essas variáveis para I_2 (39 meses). De posse das estimativas das variáveis em I_2 , foram projetadas as estimativas das variáveis para I_3 (51 meses). Assim, de 12 em 12 meses, projetou-se até a idade de 135 meses. Após o primeiro desbaste, procedeu-se da mesma forma, considerando-se a idade 61 meses como I_1 , e as distribuições foram projetadas até a idade de 169 meses.

Quadro 2 – Projeção dos parâmetros da função Weibull para idades avançadas, em meses, utilizando o modelo de distribuição diamétrica

Idade (meses)	d_{max} (cm)	d_{min} (cm)	β	γ	N
Antes do 1º desbaste					
27*	13,0	2,5	9,089	6,523	1307
39	14,7	2,6	11,011	5,679	1305
51	16,5	2,7	12,477	5,166	1303
63	18,2	2,8	13,723	4,812	1302
75	19,8	2,9	14,830	4,549	1301
87	21,2	3,1	15,840	4,343	1300
99	22,6	3,2	16,775	4,177	1299
111	23,8	3,3	17,649	4,038	1299
123	25,0	3,4	18,474	3,920	1298
135	26,2	3,5	19,257	3,818	1298
Após o 1º desbaste					
61*	19,0	6,5	14,404	10,549	699
73	20,7	6,8	15,586	9,672	699
85	22,3	7,0	16,665	9,009	699
97	23,7	7,3	17,665	8,485	699
109	25,1	7,6	18,600	8,059	699
121	26,4	7,9	19,481	7,703	699
133	27,6	8,1	20,317	7,401	699
145	28,7	8,4	21,115	7,141	699
157	29,8	8,7	21,877	6,913	699
169	30,9	9,0	22,610	6,711	699

* Valores observados.

Com as estimativas do número de árvores e dos parâmetros da função Weibull, estimou-se a frequência por hectare em cada classe de diâmetro, para todas as idades consideradas. Na Figura 2 são apresentadas as distribuições diamétricas projetadas, considerando os dados iniciais observados antes e após o primeiro desbaste.

Ao longo do tempo, as distribuições diamétricas se achatam e deslocam para direita, sendo esse o comportamento natural da distribuição diamétrica para povoamentos equiâneos. Com isso, pode-se inferir que a redistribuição do número de árvores por classe de diâmetro, ao longo do tempo, obtida pelo modelo de distribuição diamétrica, está de acordo com a teoria. Outro aspecto que também está de acordo com a teoria é o comportamento do ingresso de árvores em sucessivas classes de diâmetros. Observa-se que as áreas correspondentes aos ingressos diminuem com o passar do tempo. Esse comportamento é o mesmo antes e após o desbaste. Verifica-se que o povoamento florestal antes do desbaste apresenta tendências de crescimento diferentes

do povoamento após o desbaste; em outras palavras, o povoamento após o desbaste pode ser considerado como um novo povoamento (Figura 2).

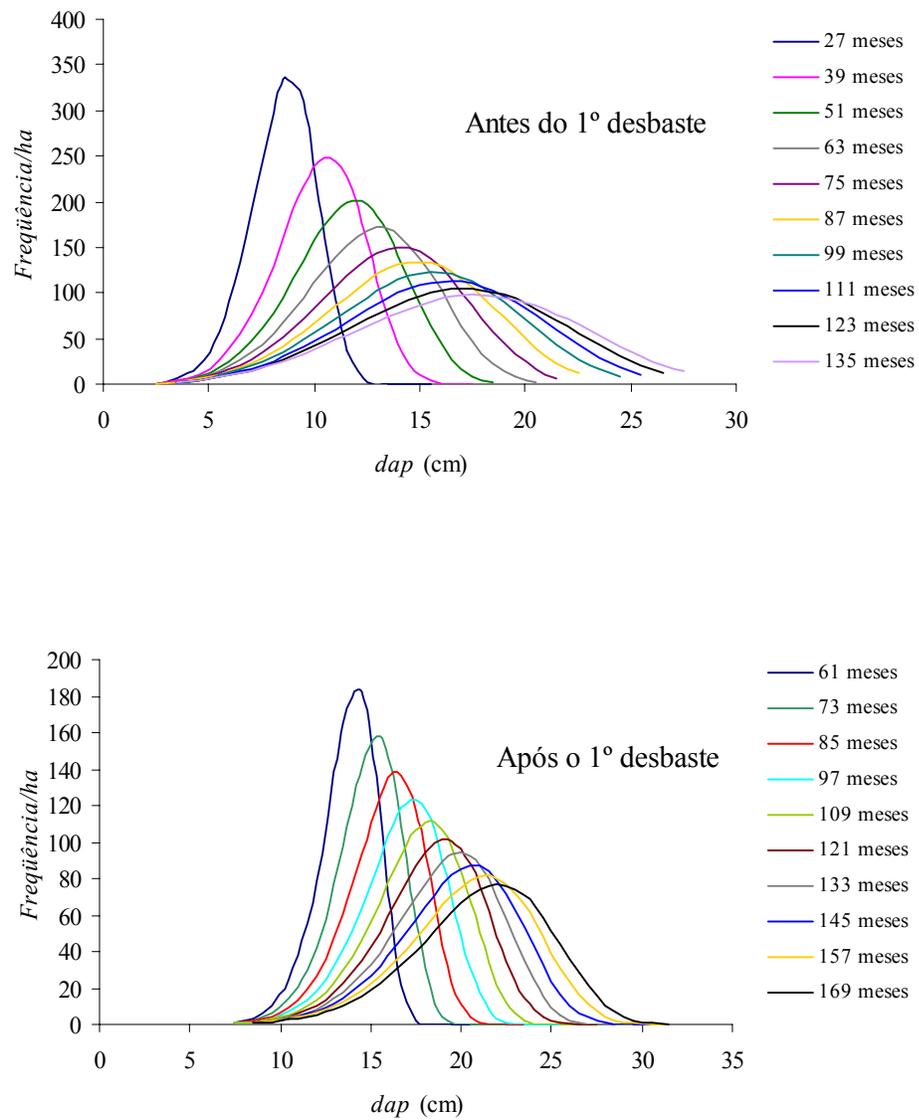


Figura 2 – Distribuições diamétricas projetadas para idades futuras, antes e após o primeiro desbaste.

Na Figura 3 são apresentados os comportamentos observados de algumas variáveis, antes e após o primeiro desbaste. A análise gráfica dessas variáveis permitiu deduzir que o desbaste realizado foi bem sucedido, uma vez que promoveu a retomada do crescimento do povoamento. Além do mais, essa base de dados é apropriada para construção de um modelo de distribuição diamétrica para povoamento desbastado, pois são oriundos de um estudo previamente planejado, seguindo os princípios da experimentação, e atendem as condições mencionadas por CAMPOS e LEITE (2002), para estudos de desbastes.

O desbaste foi realizado mais cedo (aos 58 meses) do que a idade técnica (*ITD*) recomendada pelo método dos ingressos percentuais (classe de produtividade I, *ITD* = 75 meses; classe de produtividade III, *ITD* = 88 meses); com isso, os fatores de produção que ainda estavam disponíveis foram subutilizados. Todavia, o desbaste ofereceu espaço suficiente para retomada do crescimento das árvores remanescentes. Essa retomada do crescimento pode ser observada na Figura 4, ao se analisar o comportamento da área basal (*B*), do diâmetro médio (*q*), e do parâmetro gama (γ), ao longo do tempo. A diminuição dos valores de γ em função do tempo indica a ocorrência do aumento da competição entre as árvores, tornando mais intensa a assimetria das curvas de distribuição diamétrica. De acordo com as distribuições diamétricas das árvores em todas as parcelas, antes e após o primeiro desbaste (Figura 3), o tipo de desbaste utilizado é adequado para a produção de árvores de grande porte, já que foram mantidas as árvores tecnicamente adequadas (árvores de grande porte) e colhidas as árvores inadequadas (árvores de pequeno porte). Cabe lembrar que árvores dominantes são mais eficientes na relação fotossíntese/respiração quando comparadas com as árvores dominadas (BURGER, 1980).

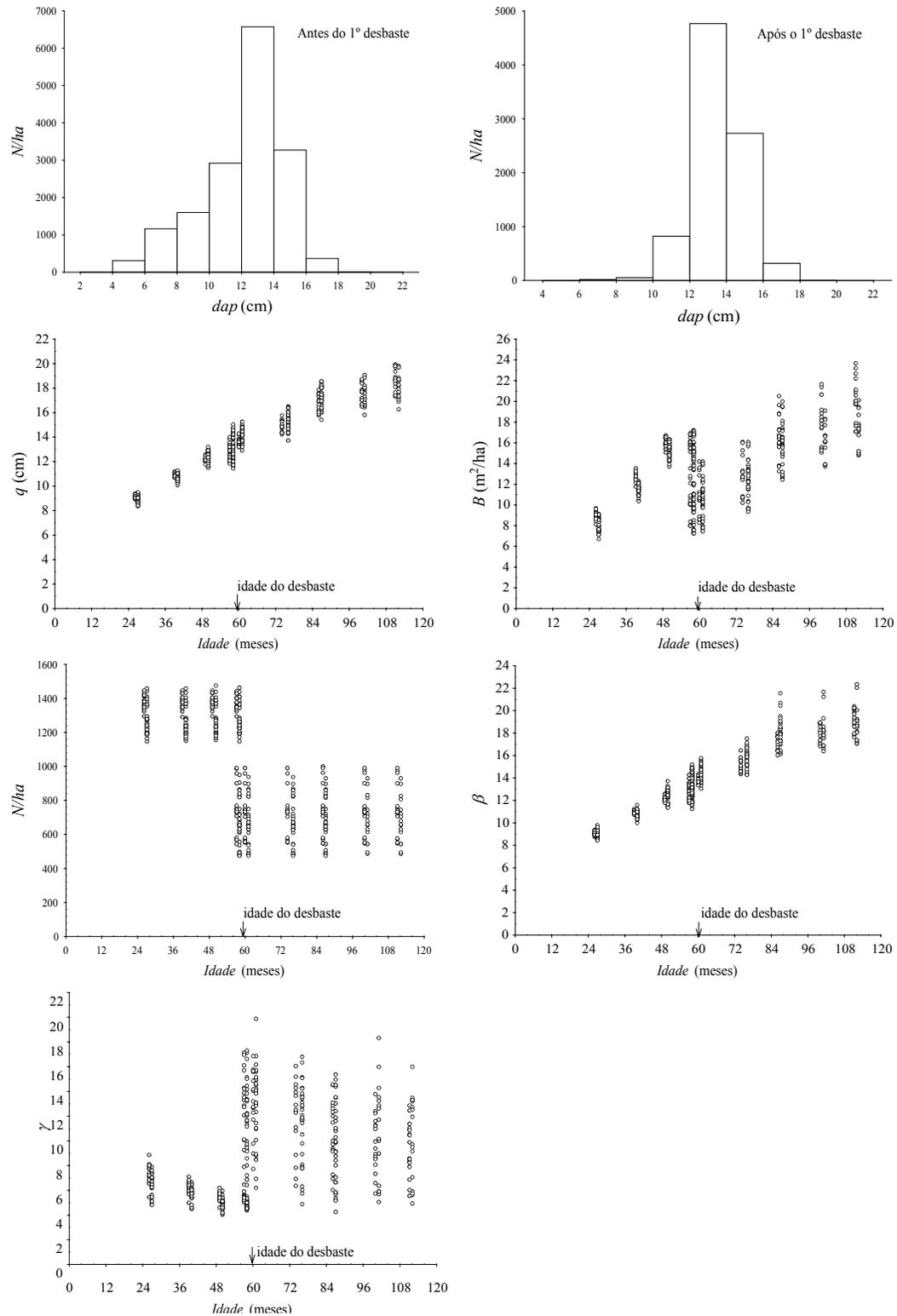


Figura 3 – Comportamento de algumas variáveis observadas, antes e após o primeiro desbaste.

3.3. Idade técnica de desbaste

As áreas correspondentes aos ingressos de árvores em novas classes de diâmetros (Figura 2) diminuem significativamente ao longo do tempo. A partir de um determinado momento esse ingresso não é mais significativo, indicando que o espaço disponível não é mais suficiente para o crescimento significativo das árvores. Conforme o item 2.2, para calcular os ingressos percentuais foi utilizado um aplicativo específico, codificado em linguagem Pascal, desenvolvido por GARCIA (1999); a idade em que os ingressos de árvores não são mais significativos foi estimada através do modelo expolinear (GOUDRIAAN, 1994).

Para calcular os ingressos percentuais foi necessário projetar as distribuições diamétricas de todas as parcelas, utilizando como distribuição diamétrica inicial a última medição. Assim, antes do desbaste, utilizaram-se as distribuições observadas nas idades de 27, 40 e 50 meses; de posse dos dados da última medição (50 meses), projetou-se a distribuição para idades futuras. Após o desbaste, utilizaram-se as distribuições observadas nas idades de 61, 76, 87, 101 e 112 meses, e projetou-se a distribuição para idades futuras, a partir dos dados da última medição (112 meses). Os ingressos percentuais foram divididos pela idade, obtendo-se o incremento percentual médio mensal (*IPM*). Os valores dos *IPM*, antes e após o desbaste, são apresentados na Figura 4. É possível identificar visualmente o intervalo que contempla a idade técnica de desbaste (*ITD*). Antes do desbaste esta idade está entre 70 e 90 meses; após o desbaste, entre 110 e 130 meses. A identificação exata da *ITD* foi feita através do ajuste do modelo expolinear.

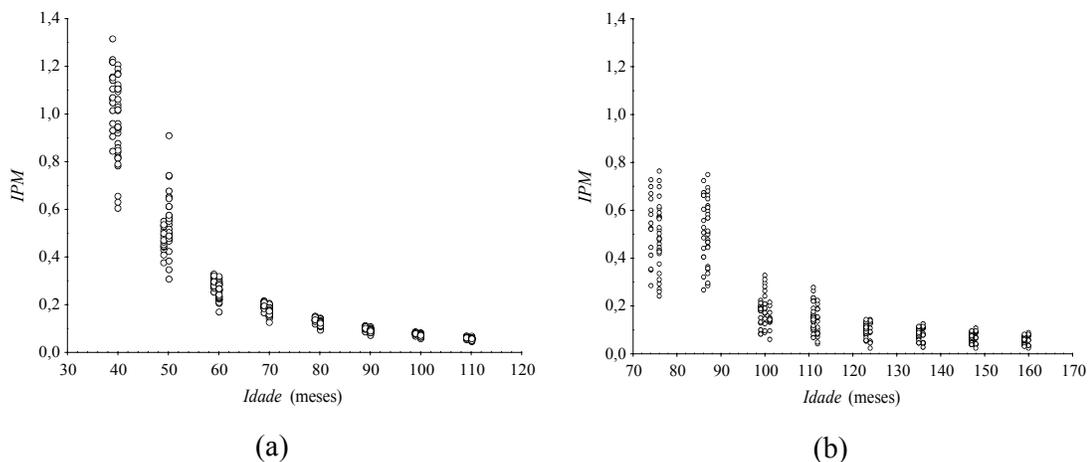


Figura 4 – Ingresso percentual médio mensal antes (a) e após (b) o primeiro desbaste em função da idade.

O modelo expolinar foi ajustado para classes de produtividade e porcentagem de desbastes diferentes. As equações ajustadas com os respectivos coeficientes de correlação ($R_{\hat{V}}$), antes e após o primeiro desbaste, considerando classes de produtividade extremas (classes I e III) e a redução de 20, 35 e 50% na área basal, são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Equações expolineares e idades técnicas de desbastes para diferentes classes de produtividade e porcentagem de desbastes, antes e após o primeiro desbaste

Classe de prod.	% de redução de B/ha	Equação expolinar	$R_{\hat{V}}$	ITD (meses)
Antes do 1º desbaste				
III	-	$IPM = \frac{-35,0266}{-0,0520} Ln[1 + \exp(-0,0520(Idade - (-87,9010)))]$	0,966	88
I	-	$IPM = \frac{-66,3441}{-0,0604} Ln[1 + \exp(-0,0604(Idade - (-75,0600)))]$	0,975	75
Após o 1º desbaste				
	-	$IPM = \frac{-0,0117}{-5,1027} Ln[1 + \exp(-5,1027(Idade - (119,2083)))]$	0,822	119
III	20	$IPM = \frac{-0,0112}{-0,0556} Ln[1 + \exp(-0,0556(Idade - (111,7903)))]$	0,864	112
	35	$IPM = \frac{-0,0144}{-4,0592} Ln[1 + \exp(-4,0592(Idade - (118,5227)))]$	0,878	118
	50	$IPM = \frac{-295,615}{-0,0457} Ln[1 + \exp(-0,0457(Idade - (-124,157)))]$	0,961	124
	-	$IPM = \frac{-5,2226}{-0,0319} Ln[1 + \exp(-0,0319(Idade - (-110,255)))]$	0,917	110
I	20	$IPM = \frac{-5,3505}{-0,0332} Ln[1 + \exp(-0,0332(Idade - (-104,301)))]$	0,892	104
	35	$IPM = \frac{-5,5493}{-0,0313} Ln[1 + \exp(-0,0313(Idade - (-110,637)))]$	0,979	111
	50	$IPM = \frac{-7,3784}{-0,0319} Ln[1 + \exp(-0,0319(Idade - (-118,508)))]$	0,949	118

As ITDs obtidas estão dentro do intervalo identificado visualmente, mostrando que o modelo expolinar é adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste. Outra constatação é que o sistema de equações proposto para

redistribuir as distribuições diamétricas é lógico sob o ponto de vista biológico, uma vez que as seguintes tendências ou pressuposições foram satisfeitas:

- A classe de produtividade maior resultou em uma idade técnica de desbaste menor.
- Quanto maior a capacidade produtiva de um local, maior a taxa de crescimento das árvores.
- Quanto maior a taxa de crescimento das árvores, mais cedo o povoamento inicia o processo de competição entre as árvores, o que resulta na estagnação do crescimento.
- A estagnação é diretamente proporcional à taxa de crescimento das árvores.
- A idade técnica do primeiro desbaste para a classe de produtividade III foi de 88 meses e para a classe de produtividade I foi de 75 meses. Após o desbaste, essa tendência também foi verificada, tanto considerando todas as porcentagens de redução de área basal (classe III, *ITD* = 119 meses; e classe I, *ITD* = 110 meses) quanto considerando cada porcentagem separadamente.
- Quanto maior a porcentagem de redução de área basal, maior a idade técnica de desbaste. Em outras palavras, quanto menor o número de árvores remanescentes, maior o espaço para o crescimento, conseqüentemente, menor competição entre as árvores e maior *ITD*. Para a classe de produtividade III, as idades técnicas do segundo desbaste foram de 112, 118 e 124 meses, considerando, respectivamente, a redução de 20, 35 e 50% da área basal. Já para a classe de produtividade I, as *ITDs* foram de 104, 110 e 118 meses, considerando as mesmas reduções de área basal.
- Após o desbaste ocorre aumento na taxa de crescimento das árvores remanescentes. Com o desbaste, os fatores de produção ficam à disposição das árvores dominantes e co-dominantes (árvores remanescentes), que são mais eficientes na relação fotossíntese/respiração, aumentando a velocidade de crescimento dessas árvores. Para verificar essa tendência, foi elaborada a Figura 5, que mostra a relação entre os ingressos percentuais antes e depois do desbaste com a idade. Observa-se que após o desbaste houve aumento significativo nos ingressos percentuais, ou seja, houve retomada do crescimento das árvores remanescentes.
- A estagnação do crescimento é mais rápida após o desbaste. Conforme mencionado, a estagnação é diretamente proporcional à taxa de crescimento; como esta taxa é maior após o desbaste, conseqüentemente, a estagnação ocorre mais cedo. Para exemplificar, na classe I, a diferença entre a idade técnica do segundo desbaste e a do primeiro desbaste foi de 52 meses (110 - 58 meses), ou seja, antes do desbaste foram

necessários 75 meses para iniciar o processo de estagnação do crescimento, enquanto após o desbaste necessitou-se de apenas 52 meses.

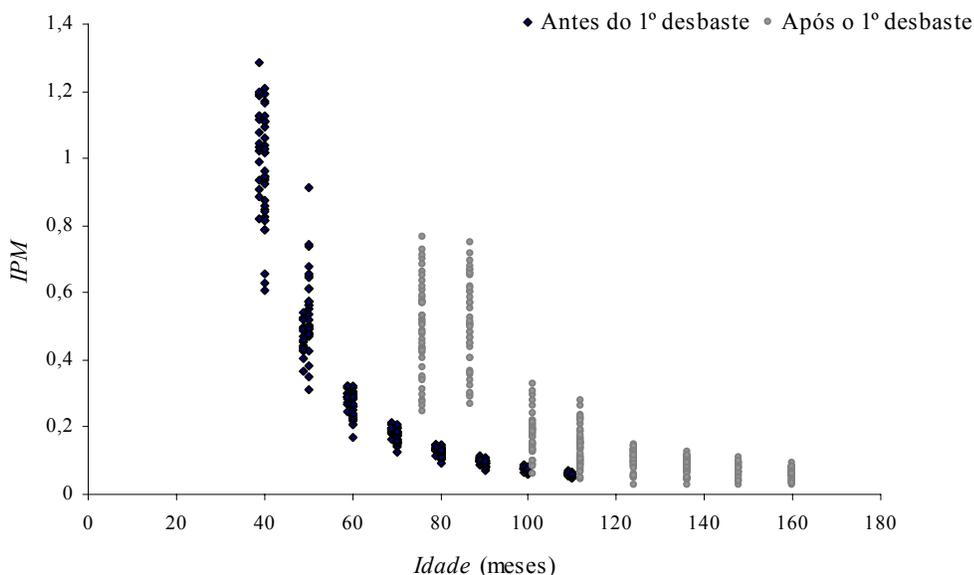


Figura 5 – Relação entre o ingresso percentual médio (*IPM*), antes e após o primeiro desbaste, e a idade.

3.4. Simulação de desbastes

Para verificar a flexibilidade do modelo na simulação de desbaste, foram consideradas as idades técnicas recomendadas para as diferentes capacidades produtivas. Assim, a partir da distribuição média dos diâmetros nas classes de produtividade extremas (classes I e III), aos 50 meses, projetaram-se as variáveis do modelo de distribuição diamétrica para as idades de 75 e 88 meses, para as classes I e III, respectivamente (Quadro 4).

Com base na redução da área basal desejada, eliminou-se parte do número de árvores na distribuição diamétrica. Foram colhidas as árvores das menores classes de diâmetros, até atingir a redução desejada. Esse tipo de desbaste é denominado seletivo. Assim, utilizando o sistema de equações proposto, a equação de altura total e a equação de múltiplos volumes, foram construídas as tabelas (Quadros 5 e 6). Considerou-se a produção volumétrica para energia (diâmetro mínimo comercial de 4 cm) e para serraria (diâmetro mínimo comercial de 15 cm), os índices de local extremos e um desbaste de 40% da área basal.

Quadro 4 – Estimativas das variáveis que compõem o sistema de equações utilizado neste estudo, projetadas para as idades técnicas de desbastes, a partir da distribuição observada aos 50 meses, considerando as classes de produtividade I e III

<i>Idade</i> (meses)	<i>dmax</i> (cm)	β	γ	<i>N</i>	<i>dmin</i> (cm)
Classe I - Site 25					
50*	19,0	12,729	4,941	1237	2,5
75	22,0	15,797	4,340	1235	2,6
Classe III - Site 22					
50*	18,0	11,830	5,776	1309	3,5
88	22,2	15,985	4,751	1306	3,7

* Valores observados.

Quadro 5 – Produção baseada na distribuição de diâmetros para volume até o diâmetro mínimo igual a 4 cm (volume com casca e sem casca para energia – V4cc e V4sc), considerando um primeiro desbaste de 40% da área basal, removendo árvores nas classes inferiores, aos 88 e 75 meses, para as classes de produtividade III e I, respectivamente

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V4cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe III - Site 22														
88	3,5	1	0,001	10,7	0,00	0,00					1	0,001	0,00	0,00
88	4,5	3	0,005	12,8	0,01	0,01					3	0,005	0,01	0,01
88	5,5	7	0,017	14,6	0,08	0,05					7	0,017	0,08	0,05
88	6,5	13	0,044	16,0	0,29	0,20					13	0,044	0,29	0,20
88	7,5	22	0,098	17,2	0,76	0,55					22	0,098	0,76	0,55
88	8,5	35	0,197	18,3	1,68	1,26					35	0,197	1,68	1,26
88	9,5	51	0,360	19,2	3,28	2,53					51	0,360	3,28	2,53
88	10,5	70	0,607	20,1	5,78	4,57					70	0,607	5,78	4,57
88	11,5	92	0,951	20,8	9,35	7,54					92	0,951	9,35	7,54
88	12,5	113	1,386	21,5	13,94	11,44					113	1,386	13,94	11,44
88	13,5	131	1,879	22,2	19,22	16,01					131	1,879	19,22	16,01
88	14,5	143	2,362	22,8	24,46	20,63					143	2,362	24,46	20,63
88	15,5	145	2,740	23,4	28,63	24,42	72	1,354	14,15	12,07	73	1,386	14,48	12,35
88	16,5	136	2,912	23,9	30,63	26,38	136	2,912	30,63	26,38				
88	17,5	117	2,810	24,4	29,69	25,79	117	2,810	29,69	25,79				
88	18,5	91	2,435	24,9	25,81	22,59	91	2,435	25,81	22,59				
88	19,5	63	1,872	25,3	19,89	17,52	63	1,872	19,89	17,52				
88	20,5	38	1,259	25,8	13,39	11,87	38	1,259	13,39	11,87				
88	21,5	20	0,729	26,2	7,76	6,92	20	0,729	7,76	6,92				
88	22,5	9	0,357	26,5	3,80	3,41	9	0,357	3,80	3,41				
88	23,5	3	0,145	26,9	1,55	1,39	3	0,145	1,55	1,39				
88	24,5	1	0,048	27,3	0,51	0,46	1	0,048	0,51	0,46				
Total		1305	23,2		240,50	205,54	550	13,9	147,18	128,40	756	9,3	93,32	77,14

Continua . . .

Quadro 5, Cont.

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V4cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe I - Site 25														
75	2,5	1	0,000	0,0	0,00	0,00					1	0,000	0,00	0,00
75	3,5	2	0,002	12,3	0,00	0,00					2	0,002	0,00	0,00
75	4,5	5	0,008	14,4	0,02	0,01					5	0,008	0,02	0,01
75	5,5	10	0,024	16,2	0,13	0,08					10	0,024	0,13	0,08
75	6,5	17	0,057	17,6	0,42	0,29					17	0,057	0,42	0,29
75	7,5	27	0,120	18,8	1,03	0,74					27	0,120	1,03	0,74
75	8,5	40	0,228	19,9	2,14	1,60					40	0,228	2,14	1,60
75	9,5	56	0,395	20,8	3,94	3,04					56	0,395	3,94	3,04
75	10,5	73	0,634	21,7	6,58	5,20					73	0,634	6,58	5,20
75	11,5	91	0,948	22,4	10,13	8,18					91	0,948	10,13	8,18
75	12,5	108	1,325	23,1	14,44	11,86					108	1,325	14,44	11,86
75	13,5	121	1,730	23,8	19,13	15,94					121	1,730	19,13	15,94
75	14,5	128	2,107	24,4	23,55	19,86					128	2,107	23,55	19,86
75	15,5	126	2,386	25,0	26,86	22,91	73	1,384	15,58	13,29	53	1,002	11,29	9,63
75	16,5	117	2,501	25,5	28,29	24,37	117	2,501	28,29	24,37				
75	17,5	100	2,411	26,0	27,37	23,77	100	2,411	27,37	23,77				
75	18,5	79	2,124	26,5	24,15	21,13	79	2,124	24,15	21,13				
75	19,5	57	1,694	26,9	19,28	16,99	57	1,694	19,28	16,99				
75	20,5	37	1,213	27,4	13,80	12,24	37	1,213	13,80	12,24				
75	21,5	21	0,772	27,8	8,78	7,83	21	0,772	8,78	7,83				
75	22,5	11	0,432	28,1	4,90	4,39	11	0,432	4,90	4,39				
75	23,5	5	0,210	28,5	2,38	2,14	5	0,210	2,38	2,14				
75	24,5	2	0,087	28,9	0,99	0,89	2	0,087	0,99	0,89				
Total		1234	21,4		238,30	203,45	502	12,8	145,51	127,04	732	8,6	92,79	76,42

Quadro 6 – Produção baseada na distribuição de diâmetros para volume até o diâmetro mínimo igual a 15 cm (volume com casca e em casca para serraria - V15cc e V15sc), considerando um primeiro desbaste de 40% da área basal, removendo árvores nas classes inferiores, aos 88 e 75 meses, para as classes de produtividade III e I, respectivamente

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> total	<i>B</i> total (m ² /ha)	<i>Ht</i> total (m)	<i>V15cc</i> total (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> total (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe III - Site 22														
88	3,5	1	0,001	10,7	0,00	0,00					1	0,001	0,00	0,00
88	4,5	3	0,005	12,8	0,00	0,00					3	0,005	0,00	0,00
88	5,5	7	0,017	14,6	0,00	0,00					7	0,017	0,00	0,00
88	6,5	13	0,044	16,0	0,00	0,00					13	0,044	0,00	0,00
88	7,5	22	0,098	17,2	0,00	0,00					22	0,098	0,00	0,00
88	8,5	35	0,197	18,3	0,00	0,00					35	0,197	0,00	0,00
88	9,5	51	0,360	19,2	0,00	0,00					51	0,360	0,00	0,00
88	10,5	70	0,607	20,1	0,00	0,00					70	0,607	0,00	0,00
88	11,5	92	0,951	20,8	0,00	0,00					92	0,951	0,00	0,00
88	12,5	113	1,386	21,5	0,00	0,00					113	1,386	0,00	0,00
88	13,5	131	1,879	22,2	0,00	0,00					131	1,879	0,00	0,00
88	14,5	143	2,362	22,8	0,00	0,00					143	2,362	0,00	0,00
88	15,5	145	2,740	23,4	4,13	3,53	72	1,354	2,04	1,74	73	1,386	2,09	1,78
88	16,5	136	2,912	23,9	11,18	9,63	136	2,912	11,18	9,63				
88	17,5	117	2,810	24,4	15,48	13,44	117	2,810	15,48	13,44				
88	18,5	91	2,435	24,9	16,37	14,33	91	2,435	16,37	14,33				
88	19,5	63	1,872	25,3	14,26	12,57	63	1,872	14,26	12,57				
88	20,5	38	1,259	25,8	10,43	9,25	38	1,259	10,43	9,25				
88	21,5	20	0,729	26,2	6,41	5,71	20	0,729	6,41	5,71				
88	22,5	9	0,357	26,5	3,28	2,94	9	0,357	3,28	2,94				
88	23,5	3	0,145	26,9	1,38	1,24	3	0,145	1,38	1,24				
88	24,5	1	0,048	27,3	0,47	0,42	1	0,048	0,47	0,42				
Total		1305	23,2		83,38	73,05	550	13,9	81,29	71,27	756	9,3	2,09	1,78

Continua . . .

Quadro 6, Cont.														
<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> total	<i>B</i> total (m ² /ha)	<i>Ht</i> total (m)	<i>V15cc</i> total (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> total (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe I - Site 25														
75	2,5	1	0,000	0,0	0,00	0,00					1	0,000	0,00	0,00
75	3,5	2	0,002	12,3	0,00	0,00					2	0,002	0,00	0,00
75	4,5	5	0,008	14,4	0,00	0,00					5	0,008	0,00	0,00
75	5,5	10	0,024	16,2	0,00	0,00					10	0,024	0,00	0,00
75	6,5	17	0,057	17,6	0,00	0,00					17	0,057	0,00	0,00
75	7,5	27	0,120	18,8	0,00	0,00					27	0,120	0,00	0,00
75	8,5	40	0,228	19,9	0,00	0,00					40	0,228	0,00	0,00
75	9,5	56	0,395	20,8	0,00	0,00					56	0,395	0,00	0,00
75	10,5	73	0,634	21,7	0,00	0,00					73	0,634	0,00	0,00
75	11,5	91	0,948	22,4	0,00	0,00					91	0,948	0,00	0,00
75	12,5	108	1,325	23,1	0,00	0,00					108	1,325	0,00	0,00
75	13,5	121	1,730	23,8	0,00	0,00					121	1,730	0,00	0,00
75	14,5	128	2,107	24,4	0,00	0,00					128	2,107	0,00	0,00
75	15,5	126	2,386	25,0	3,88	3,31	73	1,384	2,25	1,92	53	1,002	1,63	1,39
75	16,5	117	2,501	25,5	10,33	8,89	117	2,501	10,33	8,89				
75	17,5	100	2,411	26,0	14,27	12,39	100	2,411	14,27	12,39				
75	18,5	79	2,124	26,5	15,31	13,40	79	2,124	15,31	13,40				
75	19,5	57	1,694	26,9	13,83	12,18	57	1,694	13,83	12,18				
75	20,5	37	1,213	27,4	10,76	9,54	37	1,213	10,76	9,54				
75	21,5	21	0,772	27,8	7,25	6,47	21	0,772	7,25	6,47				
75	22,5	11	0,432	28,1	4,23	3,79	11	0,432	4,23	3,79				
75	23,5	5	0,210	28,5	2,12	1,90	5	0,210	2,12	1,90				
75	24,5	2	0,087	28,9	0,90	0,81	2	0,087	0,90	0,81				
Total		1234	21,4		82,86	72,69	502	12,8	81,23	71,30	732	8,6	1,63	1,39

Conforme mencionado, as áreas basais das árvores colhidas são computadas e somadas até atingir a porcentagem de redução da área basal desejada. Assim, em uma determinada classe, parte do número total de árvores poderá ser colhida, apenas para completar a redução desejada. Por exemplo, nos Quadros 5 e 6, para a classe de produtividade I, a área basal desejada foi atingida na classe 15,5. Nessa classe, foram mantidas 73 e colhidas 53 árvores.

De acordo com as estimativas apresentadas nos Quadros 5 e 6, pode-se inferir que o sistema de equações do modelo de distribuição diamétrica é adequado para prever a produção volumétrica (total, remanescente e desbastada). O modelo foi lógico e biologicamente correto. Isso pode ser verificado através de alguns aspectos – por exemplo, o índice de local maior proporcionou maior produtividade volumétrica. Pode-se observar que, apesar de o povoamento na classe de produtividade I apresentar número menor de árvores e ser desbastado mais cedo do que o povoamento na classe III, as produtividades obtidas foram praticamente as mesmas. Outro exemplo está relacionado com o volume comercial: muitas árvores desbastadas são aproveitadas para energia, enquanto poucas são aproveitadas para serraria, o que está correto, já que no primeiro desbaste o povoamento apresenta poucas árvores com dimensões apropriadas para serraria.

As distribuições dos diâmetros das árvores remanescentes e desbastadas, considerando as classes de produtividade I e III e uma redução de 40% da área basal, removendo os indivíduos das classes inferiores, são apresentadas na Figura 6. Empregou-se o modelo de distribuição de diâmetros proposto para projetar as distribuições diamétricas remanescentes do primeiro desbaste para idades futuras (Figura 7). Pode-se verificar visualmente que o ingresso de árvores em novas classes de diâmetros inicia o processo de estagnação a partir dos 123 meses, o que mostra coerência com os resultados apresentados no item 3.3, onde foi utilizado o método dos ingressos percentuais.

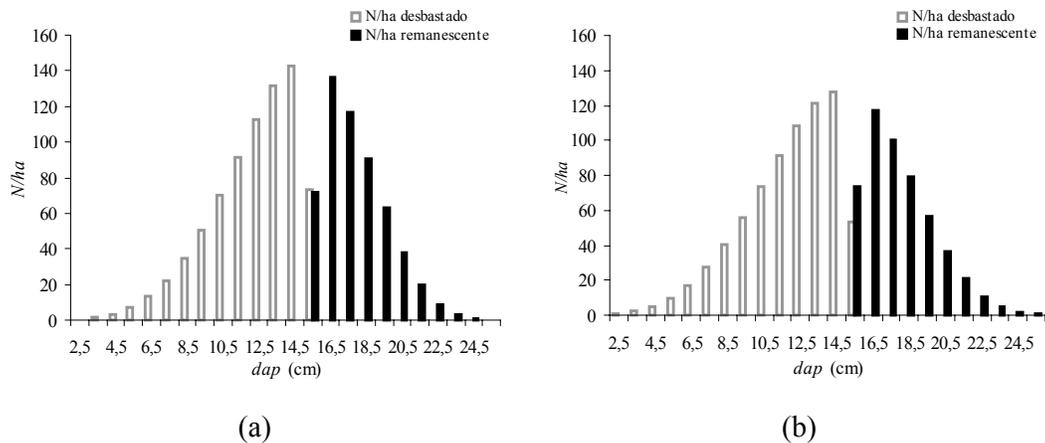


Figura 6 – Número de árvores desbastadas e remanescentes, considerando um desbaste seletivo de 40% da área basal, removendo árvores nas classes inferiores, para as classes de produtividade III (a) e I (b).

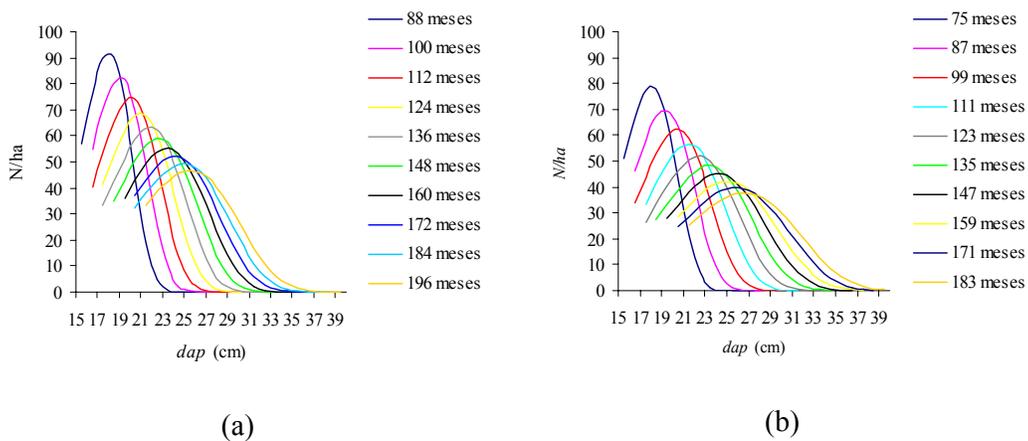


Figura 7 – Distribuições diamétricas projetadas para idades futuras a partir da distribuição remanescente de um primeiro desbaste seletivo de 40% da área basal, removendo os indivíduos nas classes de diâmetros inferiores, para as classes de produtividade III (a) e I (b).

O modelo de distribuição diamétrica proposto permite simular qualquer tipo e intensidade de desbaste. Para exemplificar essa flexibilidade, foram elaboradas as Figuras 8 e 9. Na Figura 8 são apresentadas as distribuições diamétricas remanescentes do primeiro desbaste, para a classe de produtividade I, considerando a redução de 20, 30, 40, 50 e 60% da área basal, removendo-se os indivíduos das classes de diâmetros inferiores. Na Figura 9a é apresentada a aplicação de um desbaste seletivo, na classe de produtividade I, removendo 40% da área basal em todas as classes de diâmetro. As distribuições diamétricas desse desbaste, projetadas para idades futuras, são apresentadas na Figura 9b. Observa-se que os ingressos percentuais de árvores em

sucessivas classes de diâmetros diminuem ao longo do tempo. Esse comportamento está de acordo com a tendência lógica esperada. Como esse tipo de desbaste não é semelhante ao realizado na prática, pode-se deduzir que o modelo proposto pode ser aplicado sem restrições, ou seja, podem ser simulados cenários que contemplem ou não as condições observadas no campo.

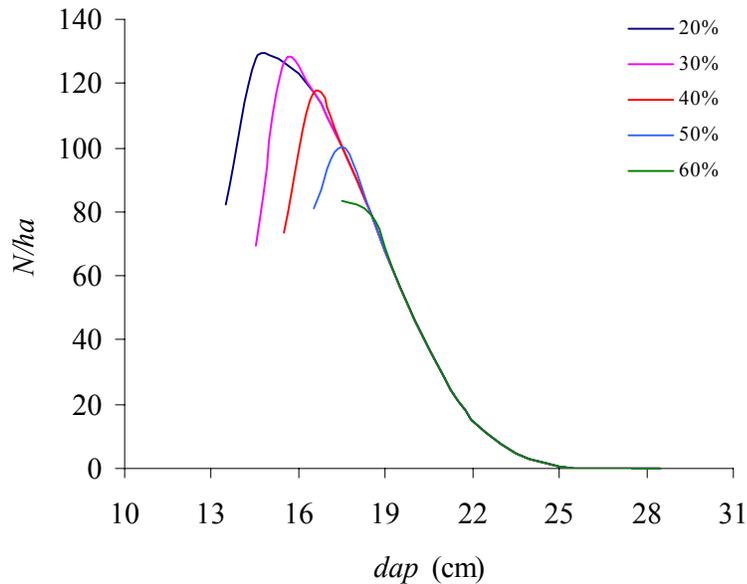


Figura 8 – Distribuições remanescentes dos diâmetros aos 75 meses, para a classe de produtividade I, considerando desbaste seletivo de 20, 30, 40, 50 e 60% da área basal nas classes inferiores.

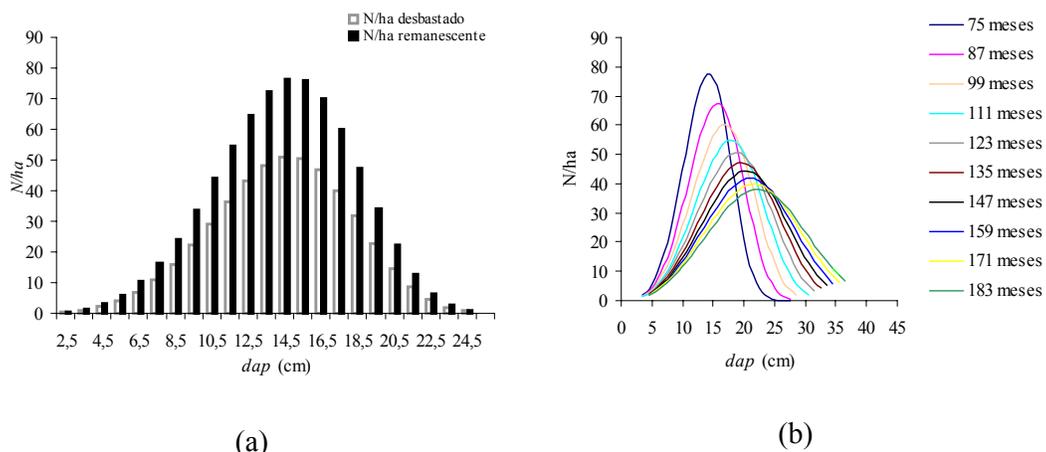


Figura 9 – Distribuições diamétricas remanescente e desbastada aos 75 meses, para a classe de produtividade I, considerando a redução de 40% da área basal em todas as classes de diâmetros (a) e projeção da distribuição remanescente para idades futuras (b).

De posse da distribuição diamétrica desbastada, é necessário computar os custos e as receitas do desbaste. Essas receitas podem ser obtidas através da otimização de multiprodutos da madeira. É necessário simular vários cenários, considerando diferentes porcentagens de redução de área basal, diferentes índices de locais e diferentes volumes comerciais. Para o segundo desbaste, deve-se projetar novamente a distribuição diamétrica remanescente para idades avançadas e determinar a idade em que os ingressos percentuais não são mais significativos. Em seguida, na idade técnica do segundo desbaste, é necessário simular vários cenários e computar os custos e as receitas dos produtos desbastados. O processo deve ser repetido caso haja outros desbastes até o corte final.

A decisão sobre a intensidade ótima de desbaste será tomada com base em algum critério econômico, utilizando, por exemplo, capitalização periódica. É necessário considerar também restrições de demanda por madeira. Nessa avaliação, cada regime de desbaste é considerado como uma alternativa ou projeto, como, por exemplo: desbaste de 50% da área basal aos 75 meses, desbaste de 30% da área basal aos 110 meses e corte final aos 180 meses.

A simulação é uma técnica muito simples, independentemente do tipo de modelo de crescimento e produção utilizado, sendo por isso muito utilizada para determinação da intensidade de desbaste. No entanto, apresenta dificuldades na análise de todos os cenários possíveis – por exemplo, o ótimo pode não ser obtido, por não avaliar todas as opções disponíveis. Vários estudos indicam que a programação dinâmica é a técnica mais adequada para tal finalidade. Como os modelos de distribuição diamétrica são adequados para analisar desbaste, recomendam-se estudos envolvendo esses modelos com modelos de programação dinâmica para determinar a intensidade ótima de desbaste.

4. CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que o modelo apresentado é biologicamente correto e consistente. Foi possível concluir ainda que:

- Após o desbaste ocorre aumento na taxa de crescimento das árvores remanescentes. Conseqüentemente, a estagnação do crescimento é mais rápida após o desbaste.

- O método dos ingressos percentuais é adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste.
- O sistema de equações proposto permite simular diferentes cenários, considerando, por exemplo, diferentes reduções de área basal, diferentes volumes comerciais, diferentes idades técnicas de desbaste e diferentes tipos de desbaste, resultando em estimativas consistentes.
- O modelo proposto pode ser aplicado sem restrições, ou seja, podem ser simulados cenários que contemplem ou não as condições observadas no experimento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURGER, D. **Ordenamento florestal I – A produção florestal**. Curitiba, PR: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1980. 124p.

BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for loblolly pine**. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1981. 59 p. (Publ., FWS-2).

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: Editora UFV, 2002. 407 p.

GARCIA, S. L. R. **Ingresso percentual: teoria e aplicações em ciência florestal**. Viçosa, [1999]. 20 p. Trabalho não publicado.

GOUDRIAAN, J. Using the exponential growth equation to analyse resource capture. In: MONTEITH, J. L.; SCOOT, R. K.; UNSWORTH, M. H. **Resource capture by crops**. Nottingham: University Press, 1994. p. 99-110.

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.

PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. Survival functions for site prepared slash pine plantations in the flat woods of Georgia Northern Florida. **Southern Journal Forestry**, v. 5, n. 2, p. 59-62, 1981.

MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* SUBMETIDOS A DESBASTE

RESUMO – Os objetivos destes estudos foram desenvolver e avaliar quantitativamente um modelo de distribuição diamétrica para manejo de povoamentos desbastados de teca (*Tectona grandis* L. f.). A construção do modelo envolveu dados provenientes de uma rede de parcelas permanentes instaladas em povoamentos de teca, no Estado do Mato Grosso, de propriedade da empresa FLORESTECA AGROFLORESTAL Ltda. Foram empregadas 239 parcelas permanentes, de forma retangular e com área útil de, em média, 490,8 m². As parcelas permanentes foram medidas em média aos 29, 35, 41, 45, 58, 70 e 81 meses. O primeiro desbaste foi realizado aos 58 meses (valor médio) e consistiu na redução, de maneira sistemática, de 36%, em média, do número de árvores. A recuperação da distribuição diamétrica foi feita a partir de equações que compreendem relações lineares e não-lineares entre os parâmetros da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2) e os parâmetros em uma idade atual (β_1 e γ_1) e com características do povoamento em uma idade atual e futura. Foi utilizado um sistema único para recuperar as distribuições diamétricas antes e após o desbaste. Foram avaliados três sistemas de equações. Estas foram analisadas através do coeficiente de determinação ajustado, coeficiente de correlação e análise gráfica dos resíduos. Para verificar a consistência dos sistemas, foram realizadas as análises de compatibilidade de cada sistema e de identidade entre eles. O sistema selecionado garante a propriedade de que, quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual. Com base nos resultados obtidos, pôde-se concluir que o modelo é compatível e indicado para manejo de povoamentos desbastados de teca. Concluiu-se também que a predição dos parâmetros da função Weibull, em uma idade futura, em função dos parâmetros observados em uma idade atual, é lógico e gera estimativas consistentes e precisas.

Palavras-chave: *Tectona grandis*, modelo de distribuição diamétrica, desbaste e avaliação de modelo.

DIAMETRIC DISTRIBUTION MODEL FOR THINNED *Tectona grandis* STANDS

ABSTRACT – The objective of this study was to develop and quantitatively evaluate a diametric distribution model for the management of thinned teak (*Tectona grandis* L. f.) stands. The building of the model involved data from a net of permanent plots established in teak stands, in the Mato Grosso State, Brazil, owned by the FLORESTECA AGROFLORESTAL Ltda enterprise. A total of 239 rectangular permanent plots with a mean area of around 490.8 m² were used. The permanent plots were measured at around 29, 35, 41, 45, 58, 70 and 81 months. The first thinning was made at 58 months (mean value) and consisted in the reduction, in a systematic way, of around 36% of the number of trees. The recovery of the diametric distribution was taken from equations which comprise linear and non-linear relations between the Weibull function parameters at a future age (β_2 and γ_2) and the parameters at a present age (β_1 and γ_1) and with stand characteristics in a present and a future age. A single system of equations was used to recover the diametric distributions before and after thinning. Three equations systems were analyzed. The equations were analyzed through the adjusted determination coefficient, the correlation coefficient and the graphical analysis of the residues. To verify the consistence of the systems the analyses of compatibility of each system and identity among them were made the system selected secures the property that when the future age (I_2) is equal to the present age (I_1) the diametric distribution in the future age is equal to the diametric distribution in the present age. Based on the results obtained the conclusions are that the model is compatible and recommended for thinned stands of teak. It was also concluded that the prediction of the Weibull function parameters at a future age in function of the parameters observed at a present age is logical and generates consistent and accurate estimates.

Key words: *Tectona grandis*, diametric distribution model, thinning and model evaluation.

1. INTRODUÇÃO

A madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.) é considerada de alta qualidade, sendo destaque no mercado mundial, principalmente por causa das propriedades físico-

mecânicas e das inúmeras possibilidades de uso. Sua madeira é utilizada em carpintaria, marcenaria, produção de móveis e construção naval (MATRICARDI, 1989; LAMPRECHT, 1990; OLIVEIRA, 2003). Existem povoamentos de teca em escala comercial implantados na Ásia, na Oceania, na África e na América. Os povoamentos implantados com objetivos comerciais são manejados com a aplicação de desbaste, uma vez que as árvores de grande porte são mais rentáveis. De acordo com CTFT (1990), o preço dessa madeira pode variar de US\$ 180.00/m³ a US\$ 3,500.00/m³, dependendo do porte da árvore e da coloração da madeira. Apesar do expressivo avanço nos estudos de modelagem do crescimento e da produção de povoamentos florestais, as estimativas de produção dos povoamentos de teca muitas vezes ainda têm sido obtidas de forma empírica. Portanto, é justificada qualquer investigação científica envolvendo o desenvolvimento de modelos de crescimento e produção para povoamentos desta espécie.

Dentre os modelos de crescimento e produção, os de distribuição diamétrica são mais indicados para prever a produção de povoamentos manejados com desbastes. Segundo BURKHART et al. (1981), esses modelos são mais flexíveis para analisar a simulação de desbastes, além de possibilitarem a avaliação econômica de multiprodutos.

Vários modelos de distribuição diamétrica já foram desenvolvidos para povoamentos de eucalipto e de *Pinus*. Alguns exemplos são encontrados nos estudos de CLUTTER e BENNETT (1965), CAMPOS (1979), BAILEY (1980), BAILEY et al. (1981), CAMPOS e TURNBULL (1981), STRUB et al. (1981), CAO et al. (1982), MATNEY e SULLIVAN (1982), BAILEY e WARE (1983), KNOEBEL et al. (1986), LEITE (1990), GUIMARÃES (1994), SILVA (2001), entre outros. Existem muitos trabalhos envolvendo o uso de modelos de distribuição diamétrica para manejo de povoamentos de *Pinus* desbastados. Por outro lado, não foi encontrado nenhum trabalho sobre o uso desse tipo de modelo para plantações desbastadas de eucalipto e de teca. A carência de desenvolvimento desse tipo de modelo é justificada, principalmente, pela falta de dados confiáveis. Para teca essa carência é ainda maior, não sendo encontrado na literatura nenhum modelo de distribuição diamétrica desenvolvido, seja para povoamento desbastado ou para não-desbastado.

Diante do exposto, os objetivos deste estudo foram desenvolver e avaliar quantitativamente um modelo de distribuição diamétrica para manejo de povoamentos desbastados de teca.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Informações sobre os dados

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de uma rede de parcelas permanentes instaladas em povoamentos de teca, no Estado do Mato Grosso, de propriedade da empresa FLORESTECA AGROFLORESTAL Ltda. A área de cada parcela retangular é de, em média, 490,8 m² e o espaçamento inicial entre as árvores é de 3 x 2 m. Foram utilizadas 239 parcelas, instaladas em três projetos: A (94 parcelas), B (95 parcelas) e C (50 parcelas). Em cada parcela, mediram-se os diâmetros a 1,30 m de todas as árvores, a altura total de 15 a 20 árvores e a altura dominante de cinco árvores em cada parcela. A altura das demais árvores foi estimada por meio de equações hipsométricas.

Os povoamentos de teca foram implantados na região da depressão cuiabana, entre as coordenadas geográficas 15° 02' a 15° 11' de latitude S, e 56° 29' a 56° 35' de longitude W. A precipitação média anual é de 1.300 a 1.600 mm, com seis meses de período seco. A temperatura média anual é de 25,3° C. As parcelas permanentes foram medidas, em média, aos 29, 35, 41, 45, 58, 70 e 81 meses. O primeiro desbaste foi realizado aos 58 meses (valor médio) e consistiu na redução sistemática de 36%, em média, do número de árvores. Esse tipo e essa intensidade de desbaste não foram definidos neste estudo.

2.2. Classificação da capacidade produtiva e estimação da altura total e do volume comercial

Empregou-se o método da curva-guia para classificar a capacidade produtiva, utilizando a forma linearizada do modelo de Schumacher: $LnHd = \beta_0 + \beta_1 I^{-1} + \varepsilon$ (1), em que Hd = média das alturas totais das árvores dominantes, em m; I = idade, em meses; Ln = logaritmo neperiano; β_i = parâmetros a serem estimados; e ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim NID(0, \sigma^2)$.

Para estimar a altura total foram testados preliminarmente vários modelos estatísticos que relacionavam a altura total com variáveis da árvore e do povoamento. O

modelo selecionado foi: $Ht = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 SLnI + \varepsilon$ (2), em que: Ht = altura total da árvore, em m; dap = diâmetro a 1,30 m de altura, em cm; S = índice de local, em m; I , Ln , β_i e ε = conforme definido anteriormente.

Para a obtenção do volume comercial, ajustou-se o modelo múltiplo proposto por LEITE et al. (1995) aos dados de cubagem de 242 árvores abatidas nos três projetos. O modelo de múltiplos volumes é:

$$V = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} e^{\beta_3 \frac{Tx}{dap}} \left[1 - \left(\frac{d}{dap} \right)^{1 + \beta_4 d} \right] + \varepsilon \quad (3)$$

em que V = volume comercial com e sem casca por árvore, em m³; Tx = variável binária, sendo $Tx = 0$ para volume com casca e $Tx = 1$ para volume sem casca; d = diâmetro mínimo comercial, em cm; e as demais variáveis, conforme já definidas. O modelo foi ajustado individualmente por projeto, com 84, 87 e 71 árvores cubadas, respectivamente, nos projetos A, B e C.

2.3. Modelo de distribuição diamétrica

A função densidade de probabilidade utilizada foi a Weibull, cuja forma geral é:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^\gamma} & , \text{ para } \alpha \leq x < \infty \\ 0 & , \text{ para outros valores de } x \end{cases} \quad (4)$$

Sua forma acumulativa é:

$$F(x) = \int_{\alpha}^{\infty} f(x) dx = 1 - e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^\gamma} , (\alpha \leq x < \infty) \quad (5)$$

em que:

α = parâmetro de locação;

β = parâmetro de escala;

γ = parâmetro de forma; e

x = centro da classe de diâmetro, sendo $x \geq 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$.

A função Weibull foi ajustada aos dados da distribuição diamétrica observada em cada parcela e em todas as medições, empregando-se o método da máxima

verossimilhança. Para testar a aderência foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, em nível de 5% de probabilidade. Nas parcelas em que o teste foi significativo, as estimativas β e γ foram obtidas através do método da aproximação linear (CAMPOS e LEITE, 2002).

A redistribuição teórica dos diâmetros por classe, ou seja, recuperação da distribuição diamétrica, foi realizada por meio de regressões linear e não-linear. Foram considerados como variáveis dependentes os parâmetros da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2) e, como variáveis independentes, os parâmetros da função Weibull em uma idade atual (β_1 e γ_1) e as características do povoamento em uma idade atual e futura. As seguintes características do povoamento foram testadas: idade, diâmetro máximo, diâmetro mínimo, diâmetro médio, índice de local, número de árvores, altura dominante e combinações dessas variáveis. Para ajustar as equações foram utilizados os métodos dos Mínimos Quadrados Ordinários e Mínimos Quadrados Não-Lineares, empregando o procedimento iterativo Quasi-Newton.

Foram selecionados três sistemas, sendo esses ajustados aos dados, considerando todas as remedições, ou seja, antes e após o desbaste. A seleção dos sistemas foi feita com base no coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}_{yy}^2) (para os modelos lineares), no coeficiente de correlação entre os valores estimados e observados (R_{yy}) (para os modelos lineares sem intercepto e para os modelos não-lineares) e na análise gráfica dos resíduos. As relações funcionais dos modelos estatísticos dos sistemas selecionados são:

a) Sistema 1

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-\theta_1(I_2^{\theta_2} - I_1^{\theta_2})} \cdot \varepsilon$$

$$Ln\gamma_2 = \theta_3 + \theta_4 dmin_2 + \theta_5 Ln\gamma + \varepsilon$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_6 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 + \varepsilon$$

$$\beta_2 = \theta_7 + \theta_8 (dmax_2) + \theta_9 (\beta_1) + \varepsilon$$

$$N_2 = N_1 e^{-\theta_{10}(I_2^{\theta_{11}} - I_1^{\theta_{11}})} \cdot \varepsilon$$

➔ Antes do desbaste

$$N_2 = N_1$$

➔ Depois do desbaste

b) Sistema 2

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-\theta_1(I_2^{\theta_2} - I_1^{\theta_2})} \cdot \varepsilon$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 e^{-\theta_3(I_2^{\theta_4} - I_1^{\theta_4})} \cdot \varepsilon$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_5 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 + \varepsilon$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_6 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2 + \varepsilon$$

$$N_2 = N_1 e^{-\theta_7(I_2^{\theta_8} - I_1^{\theta_8})} \cdot \varepsilon \quad \rightarrow \quad \text{Antes do desbaste}$$

$$N_2 = N_1 \quad \rightarrow \quad \text{Depois do desbaste}$$

c) Sistema 3

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-\theta_1(I_2^{\theta_2} - I_1^{\theta_2})} \cdot \varepsilon$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 e^{-\theta_3(I_2^{\theta_4} - I_1^{\theta_4})} \cdot \varepsilon$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \theta_5 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 + \varepsilon$$

$$\beta_2 = \theta_6 + \theta_7(dmax_2) + \theta_8(\beta_1) + \varepsilon$$

$$N_2 = N_1 e^{-\theta_9(I_2^{\theta_{10}} - I_1^{\theta_{10}})} \cdot \varepsilon \quad \rightarrow \quad \text{Antes do desbaste}$$

$$N_2 = N_1 \quad \rightarrow \quad \text{Depois do desbaste}$$

em que:

I_2 = idade futura, em meses;

I_1 = idade atual, em meses;

γ_2 e γ_1 = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente;

β_2 e β_1 = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente;

$dmax_2$ e $dmax_1$ = diâmetro máximo, em cm, em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente;

$dmin_2$ e $dmin_1$ = diâmetro mínimo, em cm, em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente;

N_2 e N_1 = número de árvores por ha em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente;

Ln = logaritmo neperiano;

ε = erros aleatórios; e

θ_1 = parâmetros a serem estimados.

Antes do desbaste houve mortalidade natural das árvores; assim, houve diminuição no número de árvore ao longo dos anos. A sobrevivência (N_2) antes do desbaste foi estimada pelo modelo proposto por PIENAAR e SCHIVER (1981). A forma matemática desse modelo também foi utilizada para estimar o $dmin_2$ no sistema 1 e o γ_2 nos sistemas 2 e 3. Após o desbaste, assumiu-se que não houve mortalidade; assim: $N_2 = N_1$.

2.4. Avaliação do modelo de distribuição diamétrica

Os três modelos foram avaliados considerando os seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}_{yy}^2), coeficiente de correlação entre os valores estimados e observados (R_{yy}), análise gráfica dos resíduos e análise de compatibilidade. O coeficiente de correlação foi utilizado para analisar os modelos não-lineares, uma vez que para estes não existe uma definição consistente para coeficiente de determinação. A análise gráfica dos resíduos consistiu em relacionar os parâmetros β_2 e γ_2 estimados pela função Weibull com os estimados pelos sistemas de equações. Selecionou-se o sistema de equações que apresentou o melhor desempenho.

A projeção da distribuição dos diâmetros foi feita a partir de uma distribuição em uma idade atual para uma idade futura, partindo-se de uma distribuição inicial observada. A tendência de crescimento do povoamento florestal antes do desbaste é diferente da tendência após o desbaste; assim, para projetar a distribuição diamétrica, considerou-se uma distribuição inicial observada antes do desbaste e outra após o desbaste.

O teste de compatibilidade consistiu em analisar se a distribuição diamétrica projetada do início para o final de um período de tempo é compatível com a distribuição diamétrica projetada ano a ano. Empregou-se o teste Qui-quadrado (χ^2) para testar as seguintes hipóteses:

H_0 = A distribuição diamétrica no final do período projetada de I_1 para I_2 , I_2 para I_3 , . . . , I_{n-1} para I_n é igual à distribuição diamétrica no final do período projetada de I_1 para I_n

H_a = não H_0 .

em que: I_1 é a idade atual, em meses, I_2 é a idade futura, em meses e I_n é a idade no final do período, em meses.

De posse do sistema de equações selecionado, aplicou-se o teste de identidade (LEITE e OLIVEIRA, 2002), cujas hipóteses foram:

H_0 : A projeção da distribuição diamétrica obtida pelo sistema selecionado é igual à projeção obtida pelos demais sistemas.

H_a : não H_0 .

Os testes de compatibilidade e de identidade entre os sistemas foram aplicados considerando-se a média aritmética da distribuição observada em cada medição. As projeções foram realizadas a partir da média da distribuição observada na primeira medição antes do desbaste (29 meses, em média) e após o desbaste (58 meses, em média). As projeções foram realizadas de ano a ano e também, considerando do início para o final de um período de tempo.

2.5. Avaliação das estimativas de volume

A estimação da produção em volume, observada e estimada, total e por classe de diâmetro, para diferentes idades, foi obtida a partir da distribuição diamétrica observada, da distribuição diamétrica recuperada pelo sistema selecionado, das equações de altura total selecionadas e das equações de múltiplos volumes estimadas para cada projeto. A estimação foi realizada para todas as parcelas e em todas as medições. Para recuperar a distribuição, considerou-se a distribuição diamétrica inicial observada antes (29 meses) e após o desbaste (58 meses).

Para verificar a tendenciosidade das estimativas da produção em volume, total e por classe de diâmetro, empregaram-se as estatísticas utilizadas por MURPHY e STERNITZKE (1979), sendo:

$$RQEM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i)^2}$$

$$MD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i)$$

$$MDP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\hat{V}_i - V_i}{V_i} \right) 100$$

em que:

$RQEM$ = raiz quadrada do erro médio;

MD = média das diferenças;

MDP = média das diferenças percentuais;

N = número de casos, ou seja, o número de parcelas com volume observado nas classes de diâmetros indicadas; e

\hat{V}_i e V_i = volume estimado e observado, respectivamente, até o diâmetro mínimo de 4 cm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Capacidade produtiva, altura total e volume por árvore

O comportamento da altura dominante ao longo do tempo apresentado pelo projeto A foi diferente do comportamento apresentado pelos projetos B e C (Figura 1). Portanto, ajustou-se o modelo de Schumacher separadamente. As equações obtidas foram:

$$\text{Projeto A: } LnHd = 2,642130 - 25,983944 (I)^{-1}, \quad \bar{r}^2 = 0,43$$

$$\text{Projetos B e C: } LnHd = 2,886771 - 24,821349 (I)^{-1}, \quad \bar{r}^2 = 0,39$$

A aplicação do desbaste não alterou a tendência de crescimento da altura dominante (Figura 1a, b). Os feixes de curvas de índice de local (Figura 1c, d) foram construídos separadamente, para o projeto A e para os projetos B e C, adotando uma idade-índice próxima da idade em que os povoamentos foram desbastados. A idade-índice utilizada para o projeto A foi de 63 meses e, para os projetos B e C, de 55 meses. O uso de duas idades-índice diferentes não inviabiliza eventuais comparações da

capacidade produtiva entre os projetos A, B e C. Conforme CAMPOS e LEITE (2002), para que um índice de local baseado numa certa idade-índice possa ser comparado com outro que foi determinado para outra idade-índice, é necessário modificar a tabela de índice de local para uma nova idade-índice a partir de alterações na equação de índice de local.

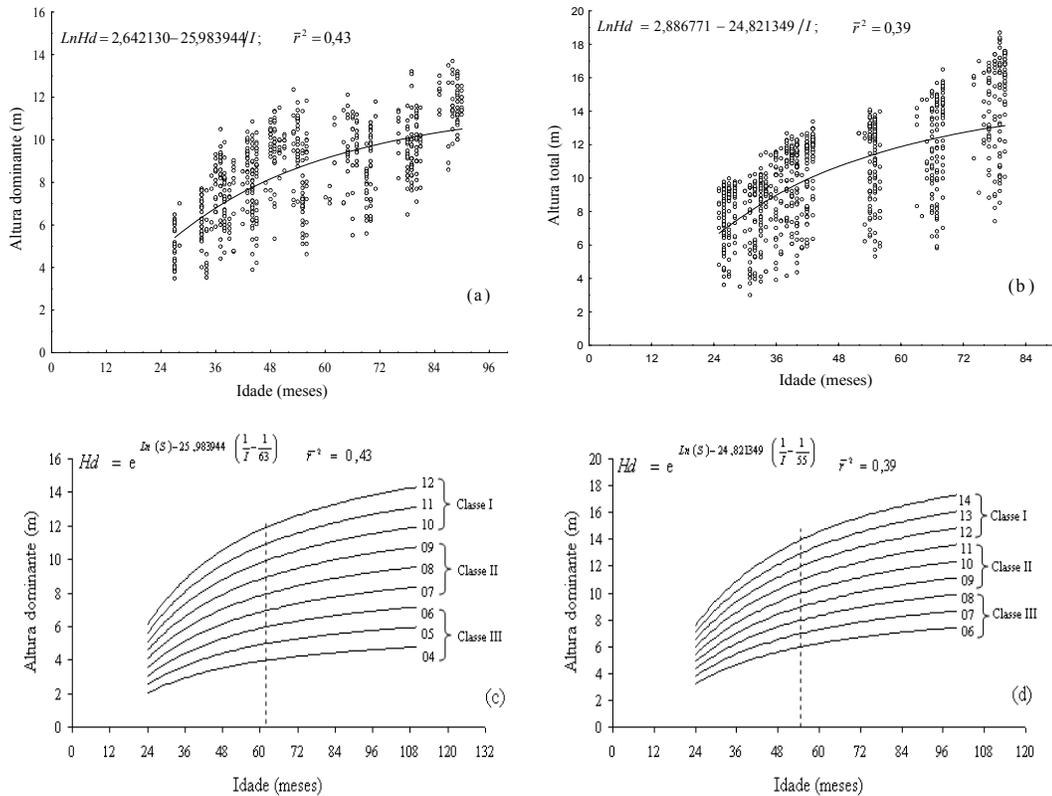


Figura 1 – Altura dominante observada e estimada ao longo do tempo para os projetos A (a) e B e C (b) e curvas de índices de local para o projeto A (c), com idade-índice de 63 meses, e para os projetos B e C (d), com idade-índice de 55 meses.

De posse dos dados de altura total de 15 a 20 árvores (sendo 5 dominantes) por parcela em todas as medições, ajustou-se o modelo de altura total apresentado no item 2.1. para cada projeto. As equações obtidas para os projetos A, B e C, com os respectivos coeficientes de determinação ajustados (\bar{R}^2), foram:

$$\text{Projeto A: } Ht = -1,115475 + 0,530350 (dap) + 0,107166 (S)(LnI), \quad \bar{R}^2 = 0,89$$

$$\text{Projeto B: } Ht = -1,432054 + 0,503845 (dap) + 0,126206 (S)(LnI), \quad \bar{R}^2 = 0,94$$

Projeto C: $Ht = -1,937653 + 0,599191 (dap) + 0,112745 (S)(LnI)$, $\bar{R}^2 = 0,93$

Os valores dos coeficientes de determinação ajustados e a análise gráfica dos resíduos (Figura 2a) indicam um bom ajuste do modelo. Contudo, verificou-se que as estimativas de altura total de algumas árvores de pequeno porte foram menos precisas que as estimativas das árvores de maior porte.

As equações de múltiplos volumes, com os respectivos coeficientes de correlação ($R_{\hat{V}}$), ajustadas aos dados de cubagem dos projetos A, B e C foram:

Projeto A: $\hat{V} = 0,000075 (dap)^{1,6327623} (Ht)^{1,126895} e^{-4,50682 \left(\frac{Tx}{dap}\right)} \left[1 - \left(\frac{d}{dap}\right)^{1+0,321556 (d)} \right]$, $R_{\hat{V}} = 0,99$

Projeto B: $\hat{V} = 0,000050 (dap)^{1,571381} (Ht)^{1,308170} e^{-4,73376 \left(\frac{Tx}{dap}\right)} \left[1 - \left(\frac{d}{dap}\right)^{1+1,625215 (d)} \right]$, $R_{\hat{V}} = 0,99$

Projeto C: $\hat{V} = 0,000054 (dap)^{1,610328} (Ht)^{1,235636} e^{-4,42993 \left(\frac{Tx}{dap}\right)} \left[1 - \left(\frac{d}{dap}\right)^{1+1,825242 (d)} \right]$, $R_{\hat{V}} = 0,99$

As equações de múltiplos volumes apresentaram estimativas consistentes e precisas, o que pode ser comprovado através da análise gráfica dos resíduos (Figura 2b) e dos valores do coeficiente de correlação ($R_{\hat{V}}$). Como ocorreu na estimação da altura total, as estimativas do volume de algumas árvores de pequeno porte foram menos precisas que as estimativas das árvores de maior porte.

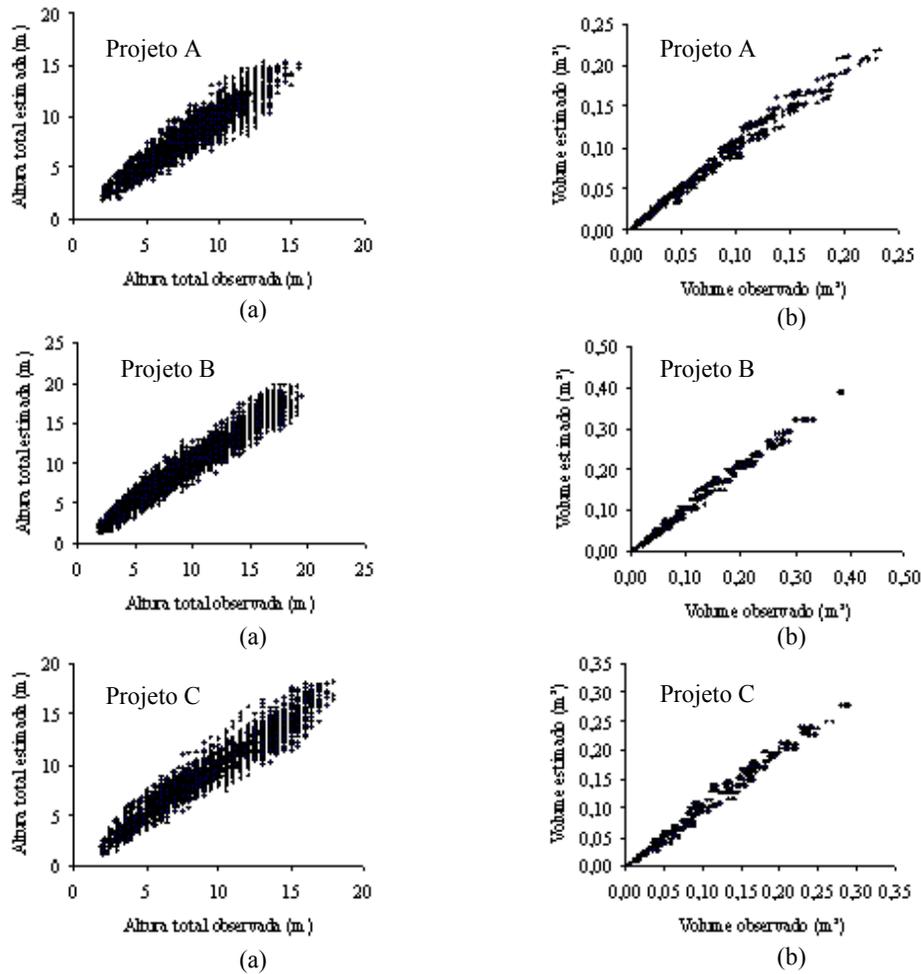


Figura 2 – Valores estimados e observados de altura total (a) e de volume (b), utilizando as respectivas equações de altura total e de múltiplos volumes para os projetos A, B e C.

3.2. Redistribuição teórica dos diâmetros por classe

De acordo com os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov, em nível de 5% de probabilidade, a maior parte das distribuições diamétricas observadas segue a distribuição Weibull. Os resultados estimados para três parcelas antes do desbaste e três parcelas após o desbaste, selecionadas ao acaso, são apresentados na Figura 3.

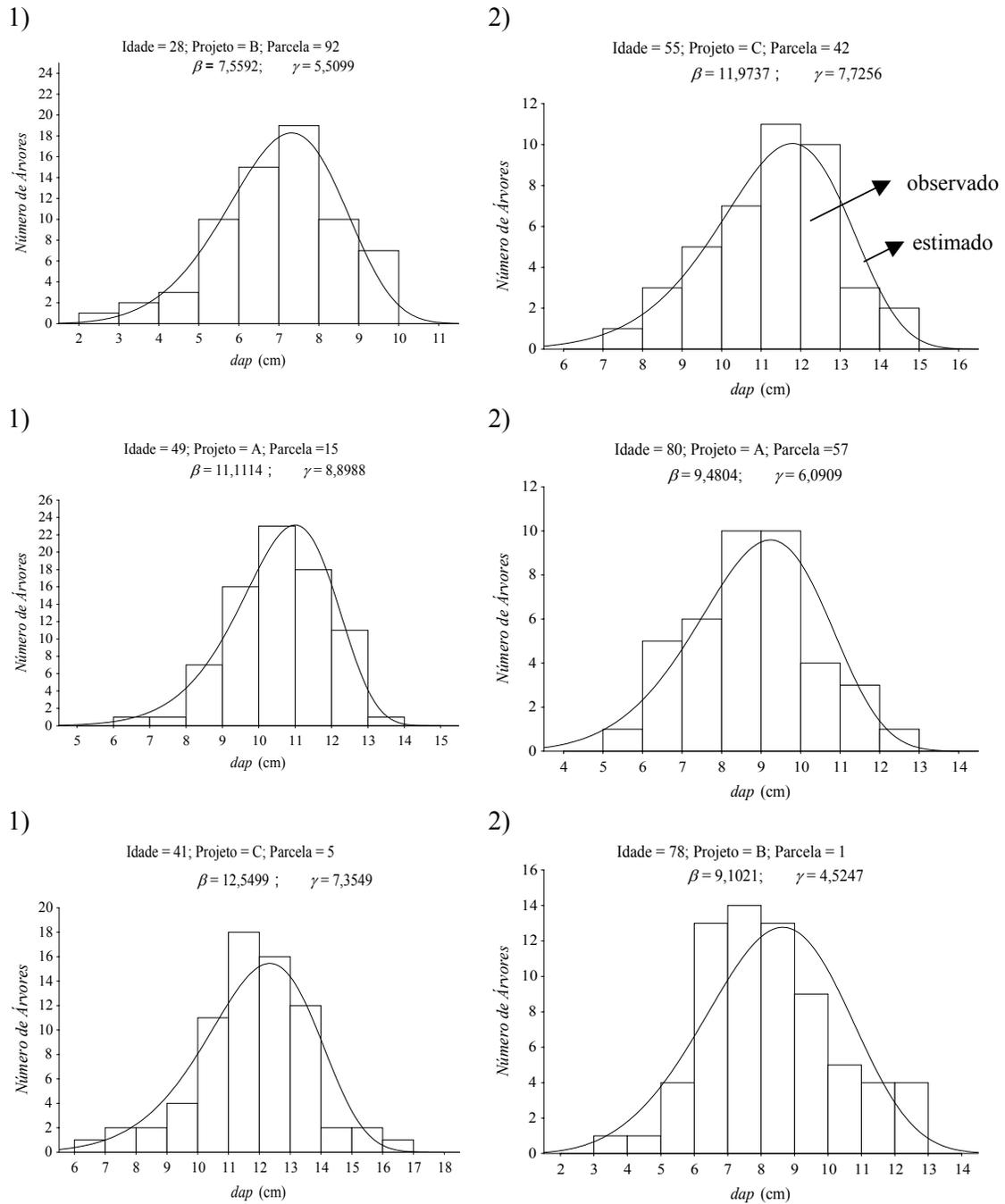


Figura 3 – Distribuição dos diâmetros observada e estimada de seis parcelas selecionadas ao acaso, antes (1) e depois do desbaste (2), utilizando a função Weibull.

Conforme item 2.3, após algumas análises prévias, foram selecionados três sistemas de equações para se obter a redistribuição teórica dos diâmetros por classe. Os sistemas são compostos por modelos estatísticos que correlacionam os parâmetros da função Weibull em uma idade futura com os parâmetros em uma idade atual e com

características do povoamento em uma idade atual e futura. As equações foram analisadas através do coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}_{yy}^2) (para as equações lineares), de correlação (R_{yy}) (para as equações lineares sem intercepto e para as equações não-lineares) e da análise gráfica dos resíduos. Os sistemas de equações ajustados foram:

a) Sistema 1

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(-1,23849)(I_2^{0,211096} - I_1^{0,211096})}, \quad R_{yy} = 0,976$$

$$Ln\gamma_2 = 0,314327 + 0,022588(dmin_2) + 0,752944(Ln\gamma_1), \quad \bar{R}_{yy}^2 = 0,882$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,320055 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, \quad R_{yy} = 0,973$$

$$\beta_2 = -0,650595 + 0,321663(dmax_2) + 0,700952(\beta_1), \quad \bar{R}_{yy}^2 = 0,976$$

$$N_2 = N_1 e^{-(249,5740)(I_2^{0,000012} - I_1^{0,000012})}, \quad R_{yy} = 0,990$$

b) Sistema 2

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(-0,887776)(I_2^{0,249503} - I_1^{0,249503})}, \quad R_{yy} = 0,970$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 e^{-(34,4547)(I_2^{-1,94803} - I_1^{-1,94803})}, \quad R_{yy} = 0,928$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,318574 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, \quad R_{yy} = 0,974$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,212049 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2, \quad R_{yy} = 0,989$$

$$N_2 = N_1 e^{-(249,5740)(I_2^{0,000012} - I_1^{0,000012})}, \quad R_{yy} = 0,990$$

c) Sistema 3

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(-0,887776)(I_2^{0,249503} - I_1^{0,249503})}, \quad R_{yy} = 0,970$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 e^{-(34,4547)(I_2^{-1,94803} - I_1^{-1,94803})}, \quad R_{yy} = 0,928$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,318574 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, \quad R_{yy} = 0,974$$

$$\beta_2 = -0,653434 + 0,315690 (dmax_2) + 0,708764 (\beta_1), \quad \bar{R}_{yy}^2 = 0,976$$

$$N_2 = N_1 e^{-(249,5740)(I_2^{0,000012} - I_1^{0,000012})}, \quad R_{yy} = 0,990$$

As relações entre as variáveis dependentes e independentes das equações que compõem os sistemas de equações são apresentadas na Figura 4, sendo possível constatar a alta correlação entre essas variáveis. Todos os parâmetros das equações nos três sistemas foram significativos pelo teste t, e as estimativas de \bar{R}_{yy}^2 e R_{yy} indicam que a qualidade dos ajustes foi satisfatória para todas as equações nos três sistemas avaliados. Por meio da análise gráfica dos resíduos (Figuras 5 e 6), verifica-se que os três sistemas apresentaram estimativas de β_2 e γ_2 precisas e consistentes. Pode-se inferir que não houve diferença significativa no grau de ajustamento entre os três sistemas.

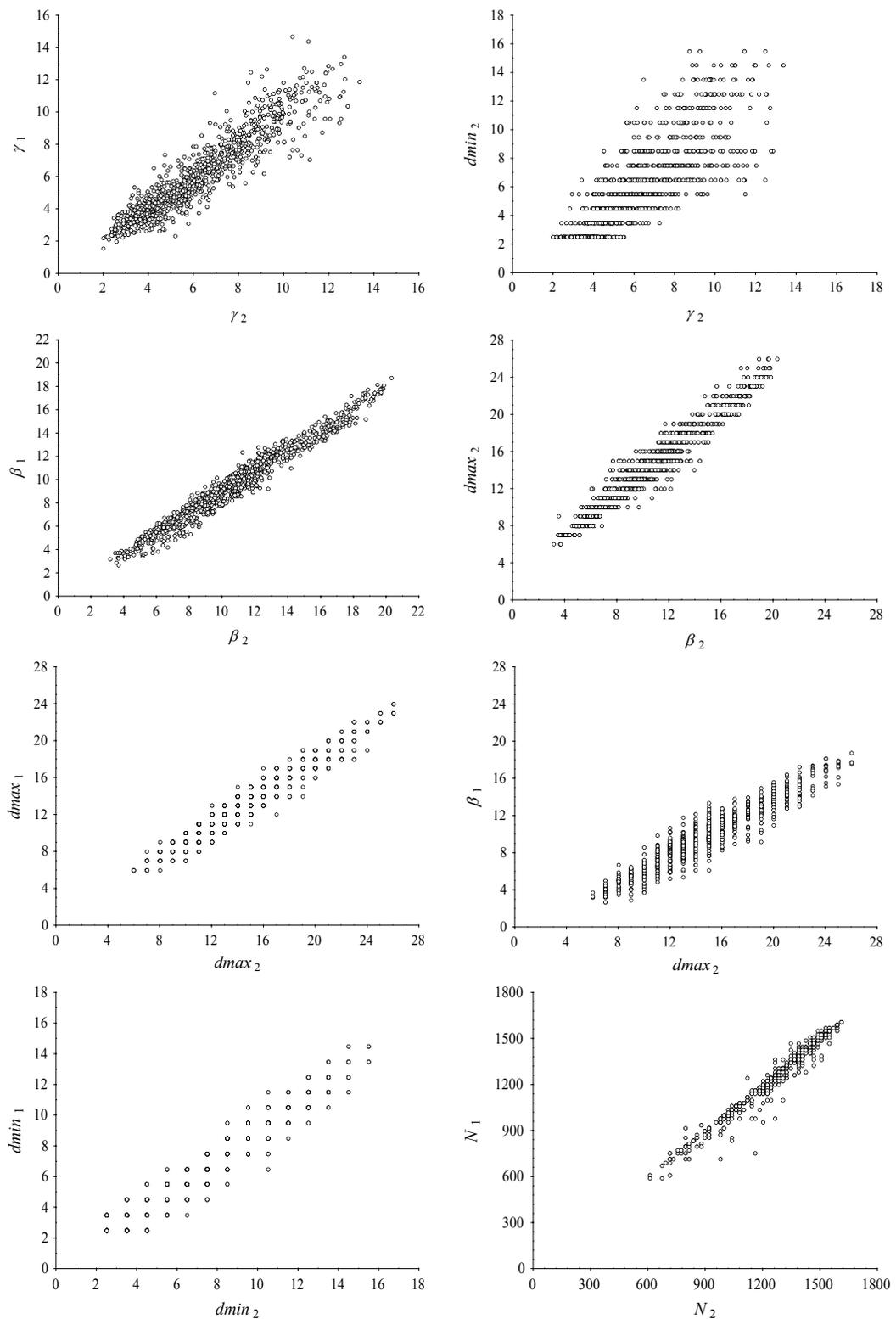
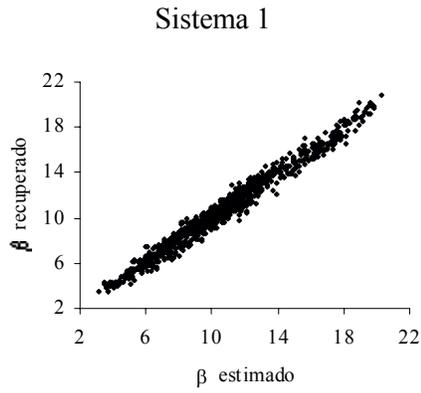
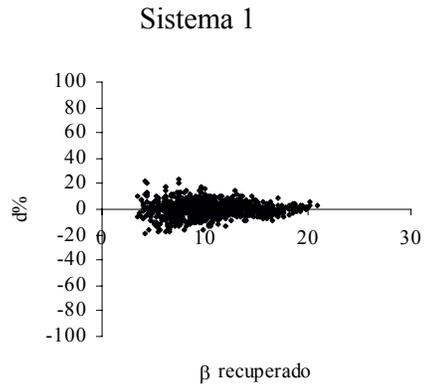


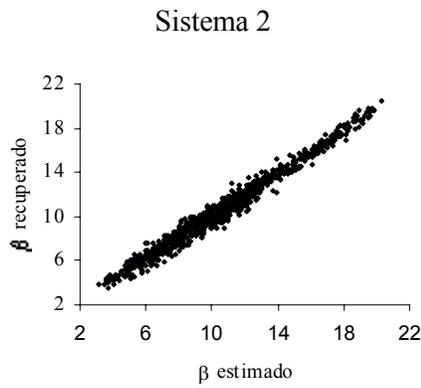
Figura 4 – Relações entre as variáveis dependentes e independentes das equações que compõem os sistemas de predição por classe de diâmetro.



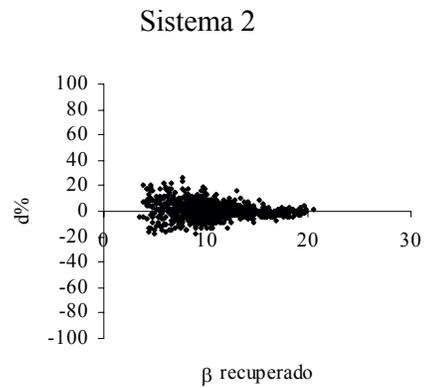
(a)



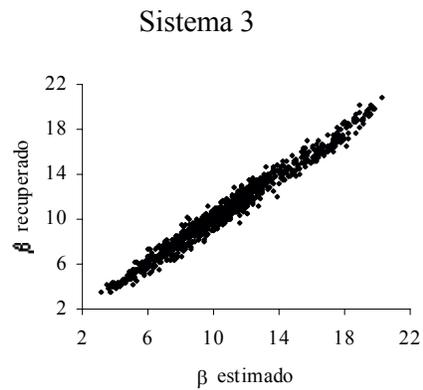
(b)



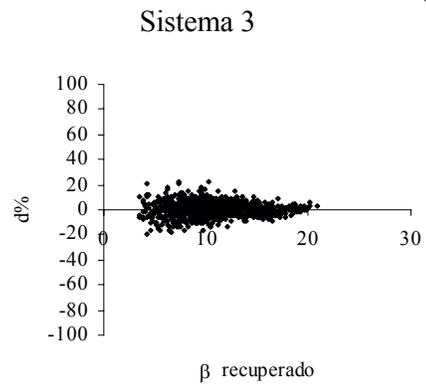
(a)



(b)



(a)



(b)

Figura 5 – Valores estimados e recuperados do parâmetro β da função Weibull (a) e distribuição dos resíduos percentuais (b) para os sistemas 1, 2 e 3, sendo $d\% = 100 (\beta \text{ recuperado} - \beta \text{ estimado}) / \beta \text{ estimado}$.

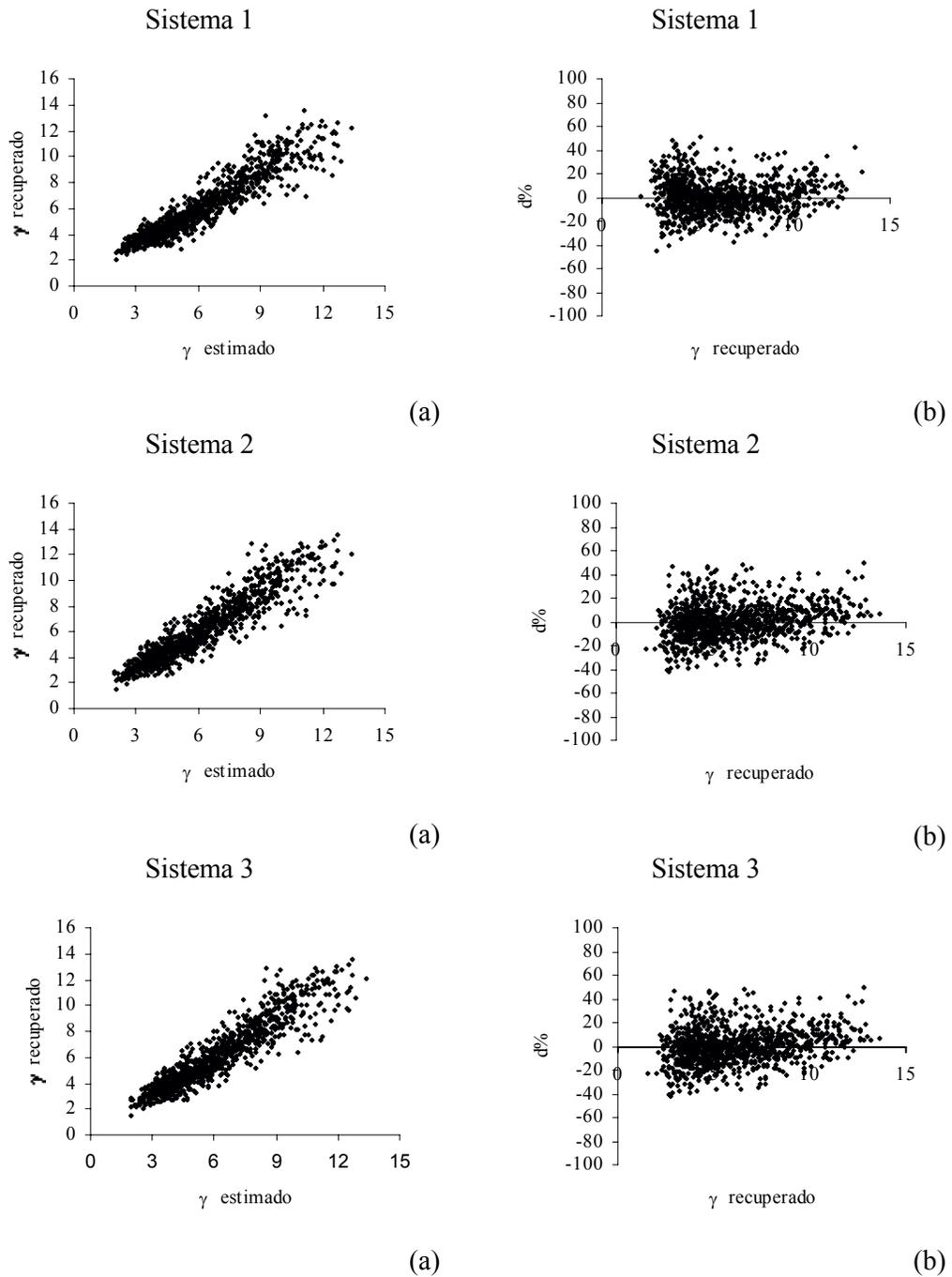


Figura 6 – Valores estimados e recuperados do parâmetro γ da função (a) e distribuição dos resíduos percentuais (b) para os sistemas 1, 2 e 3, sendo $d\% = 100 (\gamma \text{ recuperado} - \gamma \text{ estimado}) / \gamma \text{ estimado}$.

3.3. Compatibilidade e identidade entre os sistemas

Apenas no sistema 2 a distribuição diamétrica no final do período, projetada de I_1 para I_2 , I_2 para I_3 , . . . , I_{n-1} para I_n , foi igual à distribuição diamétrica no final do período, projetada de I_1 para I_n (Quadro 1). Cabe observar ainda que este possui um menor número de equações quando comparado com o sistema 1. Sobretudo, é o único sistema que garante a seguinte propriedade: quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual. Desse modo, considerando $I_2 = I_1$ nas equações do sistema 2, tem-se: $dmax_2 = dmax_1$; $\beta_2 = \beta_1$; $\gamma_2 = \gamma_1$ e $N_2 = N_1$. Portanto, o sistema 2 foi selecionado para predição dos parâmetros da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2).

Quadro 1 – Significância do teste Qui-quadrado (χ^2) na verificação da compatibilidade dos três sistemas

Sistema	Antes do 1 ^o desbaste (29 para 45 meses)	Após o 1 ^o desbaste (58 para 81 meses)
1	**	**
2	ns	ns
3	**	**

** e ns denotam, respectivamente, significativo e não-significativo a 1% de probabilidade, pelo teste χ^2 .

Os resultados do Quadro 2 permitem concluir que os sistemas 1 e 3 (ou alguns modelos desses sistemas) podem ser empregados na predição dos parâmetros da função Weibull, estimados para povoamentos equiâneos desbastados. Recomenda-se que eles sejam testados em outras análises e em outros povoamentos desbastados. Na maioria das situações, a distribuição diamétrica projetada ano a ano pelo sistema 2 foi estatisticamente igual à distribuição diamétrica projetada pelos sistemas 1 e 3. Além disso, os sistemas 1 e 3 proporcionaram estimativas precisas e consistentes (consultar análise gráfica dos resíduos, Figuras 5 e 6), e em todas as equações os valores dos coeficientes de correlação e de determinação foram altos.

Quadro 2 – Resultado do teste de identidade entre os sistemas, utilizando o método proposto por Leite e Oliveira em nível de 1% de probabilidade

Idade de projeção (meses)	Sistema 2 vs. Sistema 3	Sistema 2 vs. Sistema 1
29* para 35	=	≠
35 para 41	=	=
41 para 45	=	=
58* para 70	=	=
70 para 81	=	≠
29* para 45	≠	≠
58* para 81	≠	≠

* Valores observados.

3.4. Predição da produção em volume

As estimativas do volume comercial por meio do sistema de equações 2 foram comparadas com os valores observados, empregando-se as estatísticas: Raiz Quadrada do Erro Médio (*RQEM*), Média das Diferenças (*MD*) e Média das Diferenças Percentuais (*MDP*). Essas estatísticas foram aplicadas aos dados antes e após o desbaste, considerando-se a produção total (até o diâmetro mínimo comercial de 4 cm) e por classe de diâmetro para diferentes idades. O sistema de equações 2 gerou estimativas precisas da produção total, uma vez que os valores das estatísticas apresentados podem ser considerados como aceitáveis quando comparados com outros resultados encontrados na literatura (Quadro 3). É importante observar que, após o desbaste, os valores de *MD* e *MDP* são menores que antes do desbaste.

Quadro 3 – Avaliação da diferença entre a produção total do volume observado e do volume predito pelo sistema de equações 2, antes e após o desbaste

Idade de projeção (meses)	Antes do 1 ^o desbaste				Idade de projeção (meses)	Após o 1 ^o desbaste			
	29 ^{1/}					58 ^{1/}			
	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i> ^{2/}		<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i> ^{2/}
35	4,54	1,65	5,25	170	70	5,53	0,23	1,05	202
41	5,64	2,47	5,75	179	81	9,72	-0,38	-0,53	202
45	5,96	2,46	4,76	179					

^{1/} Média das idades, em meses, da distribuição diamétrica inicial observada; ^{2/} Número de parcelas.

Em relação às estimativas por classe de diâmetro (Quadro 4), as estatísticas apresentadas também são consideradas aceitáveis quando comparadas com outros resultados encontrados na literatura. Observa-se que houve variação significativa dos valores das estatísticas entre as classes de diâmetro. No entanto, pode-se inferir que o sistema de equações 2 proporcionou estimativas consistentes e precisas em todas as classes de diâmetro. Os valores de *RQEM*, antes e após o desbaste, aumentaram das menores para as maiores classes de diâmetro. Nas classes maiores os valores foram estáveis ou diminuíram. De acordo com os valores de *MD*, antes do desbaste ocorre subestimação das estimativas do volume nas classes de diâmetro intermediárias e superestimação nas classes extremas. Após o desbaste, ocorre alternância de subestimação e superestimação das estimativas de volumes nas diferentes classes de diâmetros. Os maiores valores de *MDP*, antes e após o desbaste, são obtidos nas maiores classes de diâmetro, e os menores, nas classes intermediárias. Após o desbaste, os valores de *MDP* são, em média, menores que os valores antes do desbaste, o que indica que após o desbaste o sistema de equações 2 proporciona estimativas mais precisas de volume comercial por classe de diâmetro.

Valores relativamente altos da estatística *MDP* nas classes de diâmetro superiores são resultado do pequeno número de árvores observado nessas classes, em algumas parcelas. Por exemplo, considerando a classe de diâmetro de 16,5 cm com um volume comercial médio por árvore, aos 45 meses, de 0,2658 m³, sendo o número de árvores observado nessa classe igual a 1 e o número de árvores estimado pelo sistema de equações igual a 4, a diferença percentual (*DP*) será de:

$$DP = 100 \left(\frac{1,0632 - 0,2658}{0,2658} \right) = 300\%.$$

Conforme mencionado, as estatísticas indicaram que após o desbaste as estimativas da produção total e por classe de diâmetro foram mais consistentes e precisas. A explicação é que, com a eliminação das árvores indesejáveis, através do desbaste, a configuração da distribuição diamétrica remanescente oferece melhores condições para o ajuste da função Weibull.

Quadro 4 – Avaliação da diferença entre o volume comercial observado e o volume predito pelo sistema de equações, por classe de diâmetro, antes e após o primeiro desbaste

Antes do 1 ^o desbaste						Após o 1 ^o desbaste					
29 ^{1/}						58 ^{1/}					
<i>Idade de projeção (meses)</i>	<i>dap (cm)</i>	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N^{2/}</i>	<i>Idade de projeção (meses)</i>	<i>dap (cm)</i>	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N^{2/}</i>
35	4,5	0,12	0,01	18,0	113	70	4,5	0,03	-0,01	-18,51	26
35	5,5	0,33	0,03	27,2	135	70	5,5	0,14	0,01	17,66	47
35	6,5	0,65	0,13	55,4	144	70	6,5	0,34	-0,05	6,77	81
35	7,5	1,30	-0,37	14,8	155	70	7,5	0,53	0,02	15,09	101
35	8,5	2,00	-0,58	11,2	134	70	8,5	0,98	-0,23	18,36	115
35	9,5	4,93	-2,85	-5,9	115	70	9,5	1,45	-0,12	20,45	135
35	10,5	3,78	0,76	37,3	104	70	10,5	1,76	-0,48	2,96	154
35	11,5	2,96	1,06	59,9	78	70	11,5	2,47	-0,80	7,35	150
35	12,5	3,04	1,11	63,4	42	70	12,5	2,96	-0,75	7,58	153
35	13,5	3,17	1,07	86,0	15	70	13,5	3,20	0,07	21,41	158
41	4,5	0,09	0,02	38,1	109	70	14,5	4,04	-0,48	15,96	146
41	5,5	0,32	0,07	36,9	126	70	15,5	4,90	1,00	35,92	125
41	6,5	0,61	0,07	38,3	139	70	16,5	5,96	-1,19	2,89	108
41	7,5	1,25	-0,31	22,2	156	70	17,5	6,00	-0,01	11,90	82
41	8,5	1,53	0,19	46,3	163	70	18,5	5,83	0,51	17,79	66
41	9,5	2,81	-1,02	5,7	151	70	19,5	7,73	-2,95	-5,53	47
41	10,5	4,43	-1,72	3,4	130	70	20,5	5,59	-3,67	-44,93	23
41	11,5	5,62	-2,41	-0,9	118	70	21,5	5,10	-3,73	-55,26	20
41	12,5	5,10	-1,13	11,3	106	81	5,5	0,11	0,01	13,25	40
41	13,5	4,79	3,03	113,1	75	81	6,5	0,37	0,00	28,05	55
41	14,5	4,57	2,31	112,9	46	81	7,5	0,75	0,11	40,22	76
45	4,5	0,08	0,01	23,1	103	81	8,5	1,07	0,11	32,73	104
45	5,5	0,25	0,05	23,7	120	81	9,5	1,31	0,16	33,35	111
45	6,5	0,53	0,13	45,5	134	81	10,5	2,38	-0,91	1,47	137
45	7,5	1,18	-0,21	34,1	151	81	11,5	3,19	-1,28	4,55	152
45	8,5	1,34	0,14	44,5	163	81	12,5	3,97	-1,99	-13,95	156
45	9,5	2,26	-0,65	8,6	162	81	13,5	3,54	-0,25	17,54	158
45	10,5	3,35	-0,80	10,0	147	81	14,5	4,59	-0,14	21,64	152
45	11,5	5,35	-2,60	-1,4	127	81	15,5	5,79	0,67	51,56	144
45	12,5	6,76	-2,60	5,0	119	81	16,5	6,56	-0,87	15,43	130
45	13,5	5,11	1,88	47,3	92	81	17,5	6,64	-0,50	10,41	111
45	14,5	4,66	1,69	49,9	66	81	18,5	8,64	-2,55	2,74	96
45	15,5	4,83	2,45	108,0	45	81	19,5	8,71	1,05	14,80	73
						81	20,5	10,68	1,23	36,85	57
						81	21,5	7,87	-1,25	6,51	42
						81	22,5	8,85	-5,38	-43,48	28
						81	23,5	6,60	-5,40	-63,59	19

^{1/} Média das idades, em meses, da distribuição diamétrica inicial observada; ^{2/} Número de parcelas com volume observado nas classes de diâmetro indicadas.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados, pôde-se concluir que o modelo proposto é compatível e indicado para manejo de povoamentos desbastados de teca. Foi possível concluir também que a predição dos parâmetros da função Weibull, em uma idade futura, em função dos parâmetros observados em uma idade atual, é lógico e gera estimativas consistentes e precisas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAILEY, R. L. Individual tree growth derived from diameter distribution models. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 626-632, 1980.

BAILEY, R. L.; ABERNETHY, N. C.; JONES, E. P. Diameter distributions models for repeatedly thinned slash pine plantations. In: BIENNIAL SOUTH. SILVICUTURE RESEARCH CONFERENCE, 1, 1980, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: USDA, 1981. p. 115-126. (General Technical Report, SO-34).

BAILEY, R. L.; WARE, K. D. Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 13, n. 4, p. 563-571, 1983.

BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for loblolly pine**. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1981. 59 p. (Publ., FWS-2).

CAMPOS, J. C. C. **A growth and yield study in thinned, even-aged stands of *Pinus patula* in Brasil**. 1979. 143 f. Thesis (Ph. D.) – University of Washington, Seattle, Washington, 1979.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: Editora UFV, 2002. 407 p.

CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. **Revista Árvore**, v. 5, n. 1, p. 1-16, 1981.

CAO, Q. V.; BURKHART, H. E.; LEMIN JUNIOR, R. C. **Diameter distributions and yields of thinned loblolly pine plantations.** Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1982. 62 p. (Publ., FWS-1).

CLUTTER, J. L.; BENNETT, F. A. **Diameter distributions in old-field slash pine plantations.** [Macon, GA]: Georgia Forest Research Council, 1965. 9 p. (Report, 13).

CTFT. Teak. **Bois et Forêts des Tropics**, n. 224, p. 39-47, 1990.

GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto.** 1994. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

KNOEBELL, B. R.; BURKHART, H. E.; BECK, D. E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar. **Forest Science** (monograph, 27), v. 32, n. 2, 62 p., 1986.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado.** Eschborn: Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990. 343 p.

LEITE, H. G. **Ajuste de um modelo de estimação de frequência e produção por classe de diâmetro, para povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith.** 1990. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, v. 19, n.1, p. 65-79, 1995.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. L. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, issue 7 e 8, 2002.

MATNEY, T. G.; SULLIVAN, A. D. Compatible stand and stock tables for thinned and unthinned loblolly pine stands. **Forest Science**, v. 28, n. 1, p. 161-171, 1982.

MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L. F.) cultivada na Grande Cáceres - Mato Grosso.** 1989. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1989.

MURPHY, P. A.; STERNITZKE, H. S. **Growth and yield estimation for loblolly pine in the West Gulf.** New Orleans, La: USDA, 1979. 8 p. (Research Paper, SO-154).

OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca - Nutriteca.** 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. Survival functions for site prepared slash pine plantations in the flat woods of Georgia Northern Florida. **Southern Journal Forestry**, v. 5, n. 2, p. 59-62, 1981.

SILVA, A. A. L. **Emprego de modelos de crescimento e produção em análise econômica de decisões de manejo florestal.** 2001. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

STRUB, M. R.; FEDUCCIA, D. P.; BALDWIN JUNIOR, V. C. A diameter distribution method useful in compatible growth and yield modeling of thinned stands. In: BIENNIAL SOUTH. SILVIC. RESEARCH CONFERENCE, 1, 1980, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: USDA, 1981. p.115-126 (General Technical Report, SO-34).

**AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA
AJUSTADO PARA POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* SUBMETIDOS A
DESBASTE**

RESUMO – Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar, do ponto de vista do realismo biológico, o modelo de distribuição diamétrica proposto no Capítulo 3. Também foi objetivo avaliar a eficiência do método dos ingressos percentuais para determinação da idade técnica do primeiro e do segundo desbaste de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L. f.). A avaliação consistiu em comparar as idades técnicas de desbaste obtidas pelo método dos ingressos percentuais, as distribuições diamétricas projetadas para idades futuras e o comportamento da distribuição remanescente, após algumas simulações de desbaste, com a tendência lógica esperada. Pôde-se concluir que: o modelo de distribuição diamétrica proposto gera estimativas que seguem uma tendência lógica do ponto de vista biológico; o método dos ingressos percentuais é adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste; o modelo permite simular diferentes opções de desbaste; a aplicação do modelo é restrita – somente as simulações que contemplem as condições observadas geraram estimativas consistentes e precisas; e, para que a aplicação do modelo de distribuição diamétrica proposto não fique limitada às condições observadas, é necessário que o sistema de equações seja ajustado a dados oriundos de parcelas permanentes instaladas especificamente para estudos de desbastes.

Palavras-chave: *Tectona grandis*, desbaste, modelo de distribuição diamétrica, método dos ingressos percentuais e avaliação de modelo.

**EVALUATION OF AN ADJUSTED DIAMETRIC DISTRIBUTION MODEL
FOR THINNED *Tectona grandis* STANDS**

ABSTRACT – The objective of this study was to evaluate, under the biologic point of view, the diametric distribution model proposed in Chapter 3. Another objective was to evaluate the efficiency of the percentage of entries method to determine the technical age for the first and second thinning in teak (*Tectona grandis* L. f.) stands. This evaluation was made by comparing the technical thinning ages obtained by the percentage of entries method, the diametric distributions projected for future ages and the behavior of the remaining distribution, after some thinning simulations, with the

expected logical tendency. It could be concluded that: the diametric distribution model proposed generates estimates which follow a logical tendency, biologically speaking; the percentage of entries method is suitable to determine the technical age of the first and second thinning; the model allows the simulation of various thinning choices; the use of the model is limited because only the simulations that adopt the conditions observed in the field generated consistent and accurate estimates; in order that the use of the diametric distribution model proposed does not become limited to the conditions observed it is necessary that the equation system be adjusted to data from permanent plots established with the specific objective of thinning studies.

Key words: *Tectona grandis*, thinning, diametric distribution model, percentage of entries method and model evaluation.

1. INTRODUÇÃO

Os plantios de teca (*Tectona grandis* L. f.) foram implantados no Brasil, em escala comercial, a partir da década de 1980, no Estado de Mato Grosso, com o objetivo de produzir árvores de grande porte (OLIVEIRA, 2003). Todos esses povoamentos comerciais são manejados com desbaste, e as principais decisões relacionadas com regime de desbaste são tomadas empiricamente, destacando-se a determinação da intensidade ótima e a idade técnica de desbaste. No entanto, essas decisões deveriam ser tomadas por meio de sistemas de suporte à decisão, que incorporam modelos de crescimento e produção, prescrições, matemática financeira e Pesquisa Operacional. Não foi encontrado na literatura nenhum trabalho desenvolvido com esses objetivos para povoamentos de teca. Por outro lado, para povoamentos de *Pinus* e de eucalipto, vários estudos dessa natureza já foram realizados, como, por exemplo, os de HILEY (1959), KRAJICEK et al. (1961), SMITH (1962), ASSMANN (1970), VEIGA (1972), CARNEIRO (1973), WYKOFF et al. (1982), VALE et al. (1984), DAVIS e JOHNSON (1987), CAMPOS et al. (1988), ROLLINSON (1988), SCOLFORO (1990), AHRENS (1992), DEAN e BALDWIN JR. (1993), FINGER e SCHNEIDER (1999), DIAS (2000) e NOGUEIRA et al. (2001), entre outros.

Dentre as várias técnicas empregadas, merecem destaque o método dos ingressos percentuais (NOGUEIRA et al., 2001) para determinar a idade técnica de

desbaste e a programação dinâmica para determinar o ótimo regime de desbaste (AHRENS, 1992). Independentemente da técnica utilizada, a obtenção das estimativas sobre a produção corrente e futura de madeira em diferentes idades é imprescindível. A alternativa mais eficiente para prognosticar estimativas de produção em florestas desbastadas é por meio do uso de modelos de crescimento e produção, especialmente os modelos de distribuição de diâmetros (BURKHART et al., 1981). Segundo SOARES et al. (1995) e CAMPOS e LEITE (2002), os modelos de crescimento e produção devem ser avaliados tanto no que se refere às interpretações de ordem qualitativa, que trata de aspectos como o realismo biológico do modelo, quanto às de ordem quantitativa, que trata de testes estatísticos e comparação de predições com observações independentes.

No Capítulo 3 foi avaliado quantitativamente um modelo de distribuição de diâmetros desenvolvido em povoamentos desbastados de teca. Aqui, o objetivo foi avaliar, do ponto de vista do realismo biológico, o modelo de distribuição de diâmetros proposto naquele capítulo e avaliar a eficiência do método dos ingressos percentuais para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste em povoamentos de teca.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Modelo de distribuição diamétrica e idade técnica de desbaste

O modelo de distribuição diamétrica estimado e selecionado no Capítulo 3 é definido pelo seguinte sistema de equações:

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(-0,887776)(I_2^{0,249503} - I_1^{0,249503})}, \quad R_{yy} = 0,970 \quad (1)$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 e^{-(34,4547)(I_2^{-1,94803} - I_1^{-1,94803})}, \quad R_{yy} = 0,928 \quad (2)$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,318574 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, \quad R_{yy} = 0,974 \quad (3)$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,212049 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2, \quad R_{yy} = 0,990 \quad (4)$$

$$\text{Antes do desbaste: } N_2 = N_1 e^{-(249,5740)(I_2^{0,000012} - I_1^{0,000012})}, \quad R_{yy} = 0,970 \quad (5)$$

Após o desbaste: $N_2 = N_1$.

Fazem parte do modelo, também, as seguintes equações:

$$\text{Projeto A: } LnHd = LnS - 25,983944 \left(\frac{1}{I} - \frac{1}{63} \right), \bar{r}^2 = 0,43 \quad (6)$$

$$\text{Projeto B e C: } LnHd = LnS - 24,821349 \left(\frac{1}{I} - \frac{1}{55} \right), \bar{r}^2 = 0,39 \quad (7)$$

$$\text{Projeto A: } Ht = -1,115475 + 0,530350 (dap) + 0,107166 (S) (LnI), \bar{R}^2 = 0,89 \quad (8)$$

$$\text{Projeto B: } Ht = -1,432054 + 0,503845 (dap) + 0,126206 (S) (LnI), \bar{R}^2 = 0,94 \quad (9)$$

$$\text{Projeto C: } Ht = -1,937653 + 0,599191 (dap) + 0,112745 (S) (LnI), \bar{R}^2 = 0,93 \quad (10)$$

$$\text{Projeto A: } \hat{v} = 0,000075 (dap)^{1,6327623} (Ht)^{1,126895} e^{-4,50682 \left(\frac{Tx}{dap} \right)} \left[1 - \left(\frac{d}{dap} \right)^{1+0,321556 (d)} \right], R_{\hat{v}} = 0,99 \quad (11)$$

$$\text{Projeto B: } \hat{v} = 0,000050 (dap)^{1,571381} (Ht)^{1,308170} e^{-4,73376 \left(\frac{Tx}{dap} \right)} \left[1 - \left(\frac{d}{dap} \right)^{1+1,625215 (d)} \right], R_{\hat{v}} = 0,99 \quad (12)$$

$$\text{Projeto C: } \hat{v} = 0,000054 (dap)^{1,610328} (Ht)^{1,235636} e^{-4,42993 \left(\frac{Tx}{dap} \right)} \left[1 - \left(\frac{d}{dap} \right)^{1+1,825242 (d)} \right], R_{\hat{v}} = 0,99 \quad (13)$$

em que

I_2 = idade futura, em meses;

I_1 = idade atual, em meses;

γ_2 = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade futura;

γ_1 = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade atual;

β_2 = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade futura;

β_1 = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade atual;

$dmax_2$ = diâmetro máximo em uma idade futura, em cm;

$dmax_1$ = diâmetro máximo em uma idade atual, em cm;

$dmin_2$ = diâmetro mínimo em uma idade futura, em cm;

$dmin_1$ = diâmetro mínimo em uma idade atual, em cm;

N_2 = número de árvores por ha em uma idade futura;

N_1 = número de árvores por ha em uma idade atual;

Ln = logaritmo neperiano;

Ht = altura total da árvore, em m;

dap = diâmetro a 1,30 m de altura, em cm;

S = índice de local;

I = idade, em meses;

\hat{v} = volume comercial com e sem casca por árvore, em m³;

Tx = variável binária, sendo $Tx = 0$ para volume com casca e $Tx = 1$ para volume sem casca; e

d = diâmetro mínimo comercial.

A relação funcional da função Weibull é:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^\gamma} & , \text{ para } \alpha \leq x < \infty \\ 0, & \text{ para outros valores de } x \end{cases} \quad (14)$$

em que:

α = parâmetro de locação;

β = parâmetro de escala;

γ = parâmetro de forma; e

x = centro da classe de diâmetro, sendo $x \geq 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$.

Os dados utilizados para ajustar o modelo são de parcelas permanentes instaladas em povoamentos de teca, pertencentes à empresa FLORESTECA AGROFLORESTAL Ltda, no Estado do Mato Grosso. Foram empregadas 239 parcelas permanentes retangulares, com área útil de 490,8 m², em média. Essas parcelas foram medidas em média aos 29, 35, 41, 45, 58, 70 e 81 meses. O primeiro desbaste foi realizado aos 58 meses (valor médio) e consistiu na remoção sistemática de 36%, em média, do número de árvores.

O modelo foi utilizado para projetar as distribuições diamétricas em idades futuras, considerando distribuições diamétricas em idades atuais. Como a tendência de crescimento do povoamento florestal antes do desbaste é diferente da tendência após o desbaste, considerou-se uma distribuição diamétrica inicial observada antes do desbaste e outra após o desbaste.

De posse das distribuições projetadas para diferentes idades, para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste foi utilizado o método dos ingressos percentuais (MIP), proposto por GARCIA (1999), utilizando o modelo

$$IPM = \frac{\theta_1}{\theta_2} \text{Ln} \left[1 + e^{\theta_2 (I - ITD)} \right] + \varepsilon, \text{ em que:}$$

$$IPM = \text{ingresso percentual médio mensal de árvores, } IPM = \frac{IP}{I};$$

IP = ingresso percentual de árvores;

I = idade do povoamento, em meses;

θ_1 = parâmetro que indica o crescimento máximo absoluto do ingresso percentual de árvores na fase linear da curva;

θ_2 = parâmetro que indica o crescimento máximo relativo do ingresso percentual de árvores na fase exponencial da curva;

ITD = parâmetro que corresponde à idade técnica do desbaste; e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

A idade do primeiro e do segundo desbaste foi determinada separadamente para os projetos A, B e C (Capítulo 3), considerando diferentes classes de produtividade. Entretanto, neste capítulo são apresentados apenas os resultados do projeto C.

2.2. Simulação de desbastes

Foram simulados desbastes em diferentes idades, com diferentes porcentagens de redução da área basal, em locais com capacidades produtivas diferentes e para diferentes usos da madeira. As simulações foram realizadas utilizando-se a distribuição média dos diâmetros do projeto C na idade técnica do primeiro desbaste. Portanto, foi necessário projetar a distribuição diamétrica da última medição antes do desbaste para a idade recomendada.

Foram simulados desbastes seletivos com base na redução da área basal, considerando a colheita de árvores apenas nas classes de diâmetro inferiores e considerando a colheita em todas as classes de diâmetro. No primeiro caso, as áreas basais das árvores removidas foram computadas e somadas até atingir a porcentagem de redução de área basal desejada. Assim, a porcentagem de redução desejada poderá ser atingida utilizando apenas parte do número de árvores de uma determinada classe. No segundo caso, a colheita é feita proporcionalmente em todas as classes. Foram simulados os seguintes cenários: 1) redução de 40% na área basal do povoamento, removendo árvores somente nas classes inferiores; e 2) redução de 40% na área basal do povoamento, removendo árvores em todas as classes de diâmetros. Os desbastes foram simulados aos 97 meses para a classe de produtividade III e aos 87 meses para a classe de produtividade I.

Com base nessas análises e simulações, foram avaliados alguns aspectos biológicos do modelo de distribuição diamétrica proposto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação quantitativa do modelo de distribuição diamétrica

De acordo com os resultados apresentados no Capítulo 3, o modelo de distribuição diamétrica é recomendado para prever o crescimento e a produção por classe de diâmetro em povoamentos desbastados de teca. O sistema de equações gerou estimativas precisas da produção em volume total e por classe de diâmetro. O sistema é compatível e garante a propriedade de que, quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual. A precisão alcançada pelo sistema na redistribuição teórica dos diâmetros por classe pode ser examinada através da Figura 1, onde são apresentadas as distribuições diamétricas observadas (*Nobs*), as distribuições diamétricas estimadas por meio das estimativas dos parâmetros da função Weibull ajustadas aos dados observados (*Nest*) e as distribuições diamétricas obtidas por meio dos parâmetros da função Weibull recuperados pelo sistema de equações (*Nrec*). Essa recuperação ou redistribuição foi realizada de I_1 para I_2 , considerando a distribuição diamétrica inicial observada aos 29 meses (média das idades antes do primeiro desbaste) e aos 58 meses (média das idades após o primeiro desbaste). As distribuições médias foram obtidas por meio da média aritmética dos três projetos em cada ocasião.

Observa-se que em todas as idades a configuração da curva relacionada com a redistribuição do número de árvores por classe de diâmetros (*Nrec*) é semelhante à configuração obtida pela distribuição estimada (*Nest*) e pela distribuição observada (*Nobs*).

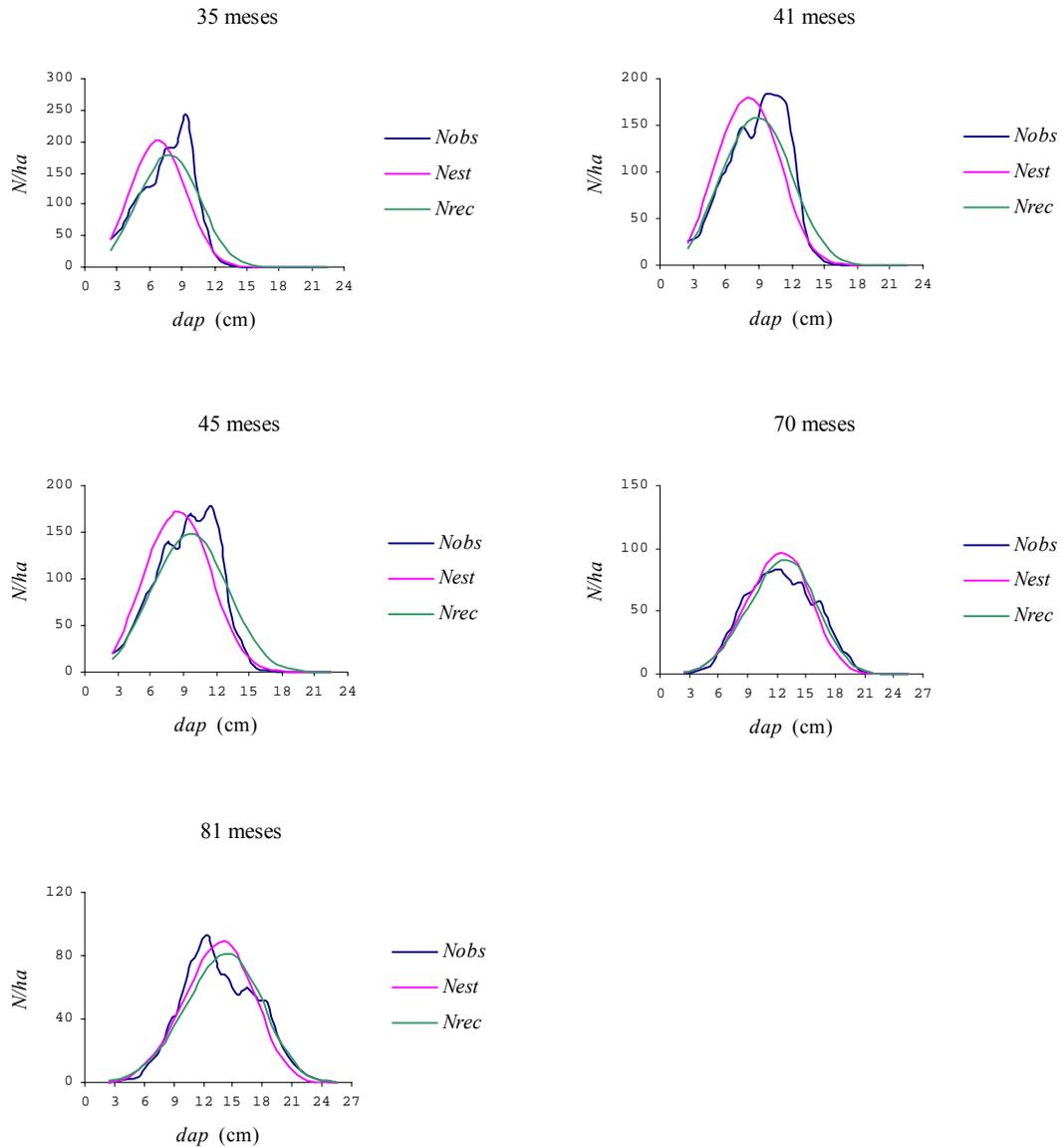


Figura 1 – Número de árvores por classe de diâmetro observado (*Nobs*), estimado pela função Weibull (*Nest*) e recuperado pelo sistema de equações (*Nrec*).

3.2. Projeção da distribuição diamétrica

A projeção da distribuição diamétrica para idades futuras pode ser realizada considerando os dados de cada parcela ou utilizando uma distribuição de diâmetros média. Para recuperar uma distribuição de diâmetros média é preciso calcular as médias dos valores das variáveis dependentes (d_{max_2} , d_{min_2} , β_2 , γ_2 e N_2) das equações do sistema de predição por classe de diâmetro. Para isso, é necessário calcular a

distribuição diamétrica observada média e obter o diâmetro máximo, o diâmetro mínimo e o número de árvores desta distribuição, que correspondem, respectivamente, ao diâmetro máximo médio, ao diâmetro mínimo médio e ao número de árvores médio. Os parâmetros β e γ médios são obtidos ao ajustar a função Weibull aos dados da distribuição média. Os resultados, considerando os valores médios dos três projetos, são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores médios observados das variáveis dependentes das equações que compõem o modelo de distribuição diamétrica para povoamento de teca desbastado, em média, aos 58 meses de idade

<i>Idade</i> (meses)	<i>dmax</i> (cm)	<i>dmin</i> (cm)	β	γ	<i>N</i>
29	13	2,5	7,218	3,192	1254
35	14	2,5	7,674	3,189	1261
41	16	2,5	9,039	3,282	1288
45	17	2,5	9,543	3,306	1292
58	19	3,5	11,367	4,189	785
70	23	3,5	13,287	4,329	789
81	25	3,5	14,786	4,423	789

A projeção das distribuições diamétricas para idades futuras foi realizada a partir de uma distribuição inicial observada. Antes do desbaste, considerou-se a distribuição inicial aos 29 meses (I_1), empregando-se β_1 igual 7,218, γ_1 igual a 3,192, $dmax_1$ igual a 13 cm, $dmin_1$ igual a 2,5 cm e N_1 igual a 1.254. Após o desbaste, considerou-se a distribuição inicial aos 58 (I_1) meses, empregando-se β_1 igual a 11,367, γ_1 igual a 4,189, $dmax_1$ igual a 19 cm, $dmin_1$ igual a 3,5 cm e N_1 igual a 785. As estimativas antes do desbaste foram projetadas para a idade de 41 meses (I_2). Com as estimativas aos 41 meses (I_2), projetaram-se as estimativas para a idade de 53 meses (I_3). Assim, de 12 em 12 meses, projetaram-se as estimativas até 149 meses. Da mesma forma, após o desbaste, foram projetadas as estimativas de 58 meses para 70 meses, depois para 82 meses, e assim até a idade de 178 meses. Os resultados são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Projeção dos parâmetros da função Weibull para idades futuras, antes e após o primeiro desbaste, utilizando o modelo de distribuição diamétrica proposto

<i>Idade</i> (meses)	<i>dmax</i> (cm)	<i>dmin</i> (cm)	β	γ	<i>N</i>
Antes do desbaste					
29*	13,0	2,5	7,218	3,192	1254
41	14,1	3,0	10,105	3,283	1252
53	16,2	3,5	12,265	3,321	1251
65	18,5	4,0	14,132	3,341	1251
77	20,7	4,4	15,839	3,353	1250
89	22,9	4,9	17,438	3,360	1249
101	24,9	5,3	18,958	3,365	1249
113	27,0	5,7	20,416	3,368	1249
125	28,9	6,2	21,820	3,371	1248
137	30,8	6,6	23,181	3,373	1248
149	32,7	7,1	24,502	3,374	1247
Após o desbaste					
58*	19,0	3,5	11,367	4,189	785
70	20,3	3,9	13,628	4,212	785
82	21,9	4,4	15,521	4,226	785
94	23,7	4,8	17,209	4,235	785
106	25,5	5,2	18,767	4,242	785
118	27,4	5,6	20,232	4,246	785
130	29,2	6,0	21,629	4,250	785
142	31,0	6,5	22,972	4,252	785
154	32,7	6,9	24,269	4,254	785
166	34,4	7,3	25,528	4,256	785
178	36,1	7,7	26,754	4,257	785

* Valores observados.

De posse das estimativas apresentadas no Quadro 2, foi estimado o número de árvores em cada classe de diâmetro para todas as idades consideradas. As distribuições de diâmetros obtidas seguem o comportamento natural da distribuição diamétrica para povoamentos equiâneos (Figura 2), ou seja, em idades maiores ocorre o achatamento das curvas, com o aumento do número de árvores nas maiores classes de diâmetros (deslocamento para direita). Observa-se que as áreas correspondentes aos ingressos de árvores em sucessivas classes de diâmetros diminuem com o passar do tempo, pois os espaços destinados ao crescimento das árvores vão diminuindo com o aumento da competitividade entre elas. Comparando as distribuições antes e após o desbaste, nota-se que as configurações das curvas são ligeiramente diferentes, o que também está de acordo com a teoria, pois, em termos de tendência de crescimento e produção, o povoamento após o desbaste pode ser considerado como um novo povoamento. Se o

desbaste tivesse sido realizado na idade recomendada e se a intensidade fosse maior, a diferença entre as configurações das curvas, antes e após o desbaste, poderia ser bem mais marcante. Assim, pode-se inferir que o modelo de distribuição diamétrica foi coerente do ponto de vista biológico na projeção da distribuição diamétrica para idades futuras.

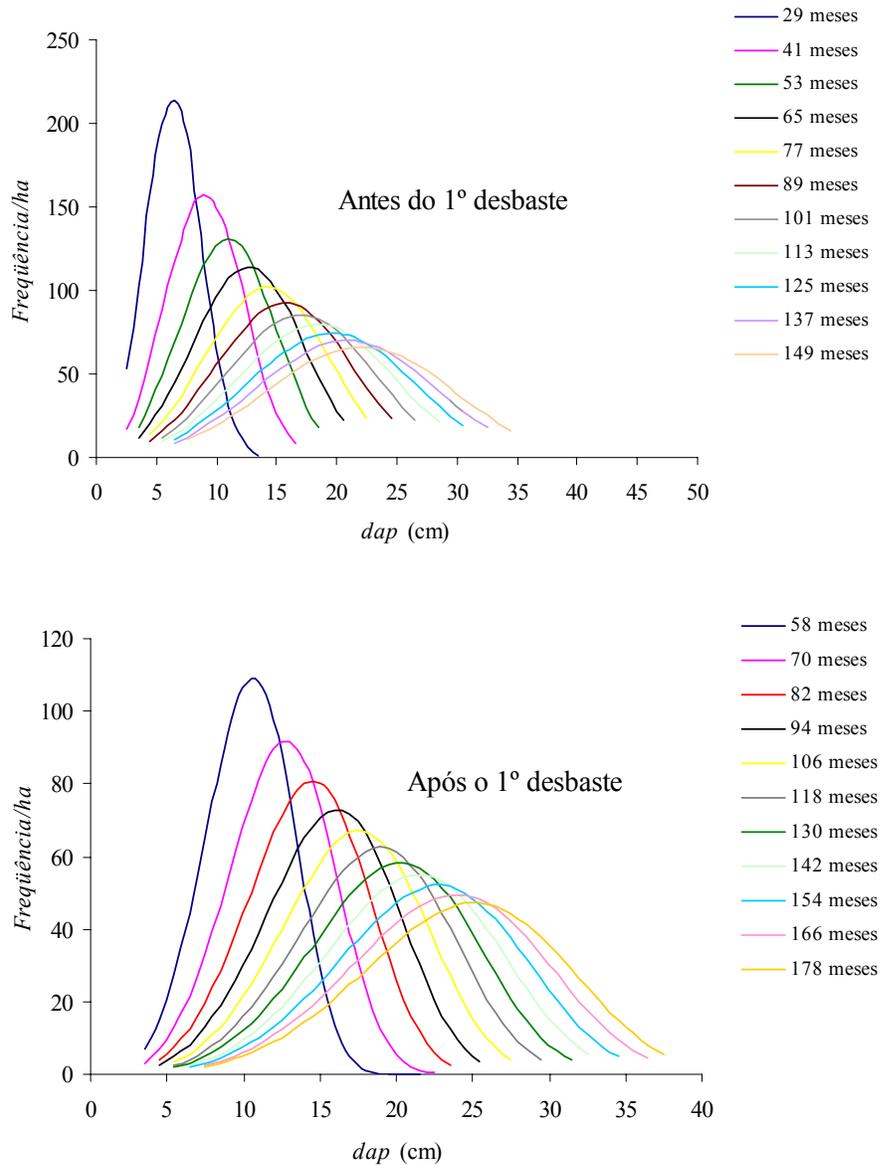


Figura 2 – Frequência por classe de diâmetro projetada para idades futuras, antes e após o primeiro desbaste.

Povoamentos sob forte nível de competição apresentam valores baixos para as estimativas do parâmetro γ e tendem a manter a forma da distribuição diamétrica

praticamente inalterada ao longo do tempo (GUIMARÃES, 1994). As estimativas e o comportamento do parâmetro γ ao longo do tempo, apresentados no Quadro 2 e na Figura 3, indicam a existência de forte competição entre as árvores do povoamento estudado, antes e após o primeiro desbaste. Isso mostra que o espaçamento inicial entre as árvores pode ter sido inadequado, sendo necessários estudos detalhados para defini-lo. Outra constatação é que, embora o desbaste realizado tenha proporcionado menor competição entre as árvores, o espaço liberado não foi suficiente para a retomada significativa do crescimento das árvores remanescentes. O comportamento da área basal (B) e do diâmetro médio (q), ao longo do tempo (Figura 3), comprova que a retomada do crescimento após o desbaste foi menor do que o esperado. As principais causas desse comportamento pós-desbaste foram: idade de desbaste tecnicamente inadequada, tipo de desbaste inadequado e baixa intensidade de desbaste.

O desbaste foi realizado bem mais cedo (55 meses para o projeto C) do que a idade recomendada pelo método dos ingressos percentuais (conforme item 3.3, considerando o projeto C, o desbaste deveria ser realizado aos 87 meses para a classe de produtividade I e aos 97 meses para a classe de produtividade III). Ou seja, na época em que o desbaste foi realizado, apesar da competição entre as árvores, ainda havia espaço para o crescimento, isto é, o povoamento não havia iniciado o processo de estagnação do crescimento. Com o desbaste, os fatores de produção que ainda estavam disponíveis foram subutilizados.

O tipo de desbaste utilizado (desbaste sistemático) permitiu o uso inadequado dos fatores de produção por diversas classes sociais da árvore. Na Figura 3, ao analisar a distribuição diamétrica das árvores em todas as parcelas nos três projetos, antes e após o desbaste, verifica-se que houve remoção de árvores tecnicamente adequadas (árvores de grande porte) e manutenção de árvores inadequadas (árvores de pequeno porte). A manutenção das árvores dominadas contribui para um crescimento menos acentuado do povoamento remanescente, já que estas árvores são menos eficientes na relação fotossíntese/respiração quando comparadas com as árvores dominantes (BURGER, 1980). Portanto, não se recomenda o desbaste sistemático quando o objetivo for produzir árvores de grande porte.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se inferir que a intensidade de desbaste utilizada (em média, desbaste de 36% do número de árvores) não foi suficiente para melhorar as condições dos fatores de crescimento (disponibilidade de nutrientes, água, luz etc.) para um bom desenvolvimento das árvores remanescentes. Definir

intensidades de desbaste, com base no número de árvores por unidade de área não é recomendado, pois o número de árvores não é apropriado para descrever o grau de ocupação da área e, conseqüentemente, não permite analisar a intensidade de competição entre as árvores, já que a densidade alta de um povoamento pode ser devida tanto a um grande número de árvores de pequenos diâmetros como a um menor número de árvores, porém com diâmetros maiores.

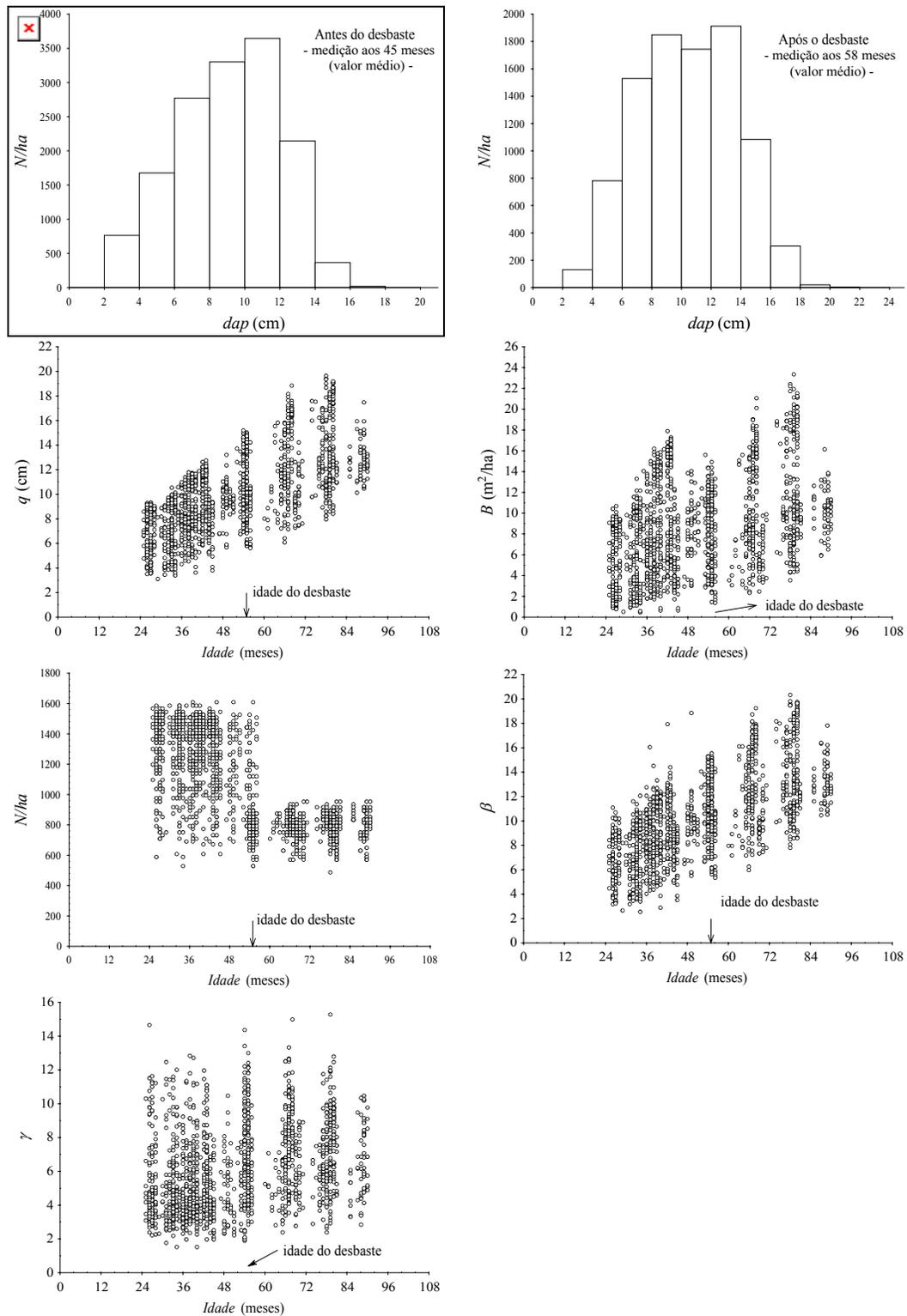


Figura 3 – Comportamento de algumas variáveis observadas antes e após o primeiro desbaste, nos projetos A, B e C.

3.3. Idade técnica de desbaste

Para o cálculo dos ingressos percentuais antes do desbaste foram utilizados os dados da distribuição diamétrica observada nas medições 2 e 4 (foram empregadas as idades individuais de cada talhão, correspondente, em média, a 35 meses para a medição 2 e 45 meses para medição 4). Não foram utilizadas as medições 1 e 3, devido ao pequeno intervalo entre as medições (em torno de seis meses), o que proporcionaria ingressos percentuais não-significativos. Os ingressos percentuais para idades futuras foram obtidos pela projeção das distribuições diamétricas de cada parcela, a partir da medição 4. Após o desbaste, foram utilizados os dados da distribuição diamétrica observados na medição 5 (em média, 58 meses), 6 (em média, 70 meses) e 7 (em média, 81 meses). Assim, foram projetadas as distribuições diamétricas de cada parcela para idades futuras, a partir da medição 7, tendo sido calculados os ingressos percentuais para essas idades. Os ingressos percentuais foram divididos pela idade, obtendo-se o incremento percentual médio mensal (*IPM*). O comportamento do *IPM* ao longo do tempo do projeto C, antes e após o primeiro desbaste, é apresentado na Figura 4. É possível identificar visualmente que a idade técnica de desbaste (*ITD*) está entre 80 e 100 meses (antes do primeiro desbaste) e entre 110 e 130 meses (após o primeiro desbaste).

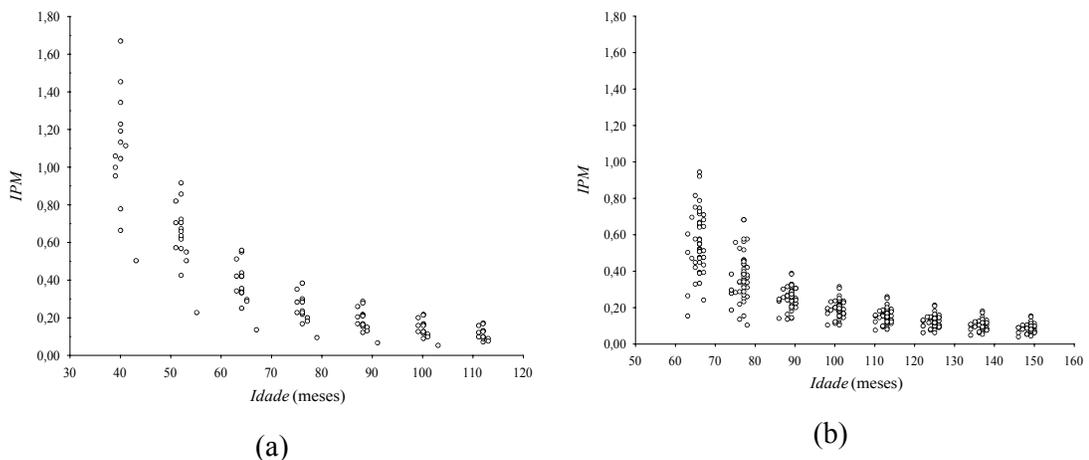


Figura 4 – Ingresso percentual médio mensal antes (a) e após (b) o primeiro desbaste em função da idade no projeto C.

As equações expolineares, com os respectivos coeficientes de correlação ($R_{\hat{y}}$), encontram-se no Quadro 3. A idade técnica de desbaste corresponde, em módulo, à estimativa do parâmetro *ITD*. As equações foram ajustadas para as classes de produtividade III e I, antes e após o primeiro desbaste. O método dos ingressos percentuais foi adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste para povoamentos de teca, já que as idades técnicas de desbaste indicadas pela equação expolinear estão dentro do intervalo de estagnação identificado visualmente, na Figura 4.

Quadro 3 – Equações expolineares e idade técnica de desbaste para classes de produtividade III e I do projeto C, antes e após o desbaste

Classe de Prod.	% de redução de B/ha	Equação expolinear	$R_{\hat{y}}$	<i>ITD</i> (meses)
Antes do desbaste				
III	-	$IPM = \frac{-15,5369}{-0,0423} Ln[1 + \exp(-0,0423(Idade - (-97,1807)))]$	0,940	97
I	-	$IPM = \frac{-1,4171}{-0,0303} Ln[1 + \exp(-0,0303(Idade - (-87,2656)))]$	0,861	87
Após o desbaste				
III	40	$IPM = \frac{-1,4143}{-0,0250} Ln[1 + \exp(-0,0250(Idade - (-125,262)))]$	0,848	125
I	40	$IPM = \frac{-0,4846}{-0,0211} Ln[1 + \exp(-0,0211(Idade - (-118,130)))]$	0,887	118

A estagnação do crescimento é diretamente proporcional à taxa de crescimento das árvores, porque, quanto maior esta taxa, mais cedo o povoamento inicia o processo de competição entre as árvores, resultando na imediata estagnação do crescimento. O momento em que se inicia esse processo de estagnação corresponde à idade técnica de desbaste. Os principais fatores que influenciam a taxa de crescimento de um povoamento são a capacidade produtiva do local, o material genético e o grau de competição entre as árvores. Quanto maior a capacidade produtiva do local, maior a taxa de crescimento das árvores; um material melhorado geneticamente pode apresentar uma taxa de crescimento elevado; e a competição acirrada entre as árvores contribui para a diminuição drástica dessa taxa. O desbaste, além de diminuir a competição entre as árvores, aumenta significativamente a taxa de crescimento das árvores remanescentes, uma vez que disponibiliza os fatores de produção para as árvores (dominantes e co-dominantes) mais eficientes na relação fotossínteses/respiração,

aumentando a velocidade de crescimento dessas árvores. Conseqüentemente, após o desbaste a estagnação do crescimento ocorre mais rapidamente, quando comparada com a estagnação antes do desbaste.

Todas as tendências mencionadas anteriormente são conclusões de vários estudos realizados ao longo dos últimos 70 anos, sendo a maioria dos trabalhos desenvolvidos para povoamentos de *Pinus*. Observa-se no Quadro 3 que essas tendências também ocorreram para os povoamentos de teca. Para a classe de produtividade III (classe de menor produtividade), as idades técnicas de desbaste foram de 97 meses para o primeiro desbaste e 125 meses para o segundo. Para a classe I as idades técnicas foram de 87 e 118 meses, para o primeiro e o segundo desbaste, respectivamente.

Na Figura 5 pode-se observar o aumento dos ingressos percentuais depois do desbaste, o que mostra a retomada do crescimento das árvores remanescentes após a colheita de 36% do número de árvores. É oportuno salientar que o aumento desse ingresso poderia ter sido mais significativo se o desbaste tivesse sido aplicado em uma idade mais apropriada, com uma intensidade maior, e se o povoamento remanescente não contivesse árvores dominadas, ou seja, se o desbaste tivesse sido seletivo, eliminando os piores indivíduos.

Conforme mencionado, a estagnação do crescimento após o desbaste foi mais rápida do que antes do desbaste, o que pode ser verificado no Quadro 3. Por exemplo, para a classe I, antes do desbaste, o processo de estagnação do crescimento iniciou-se após 87 meses e, após o desbaste, este processo iniciou-se após 60 meses (118 - 58 meses).

Diante dessas constatações, pode-se inferir que o sistema de equações proposto para redistribuir as distribuições diamétricas em povoamentos de teca está de acordo com a teoria, com a lógica e com os aspectos biológicos.

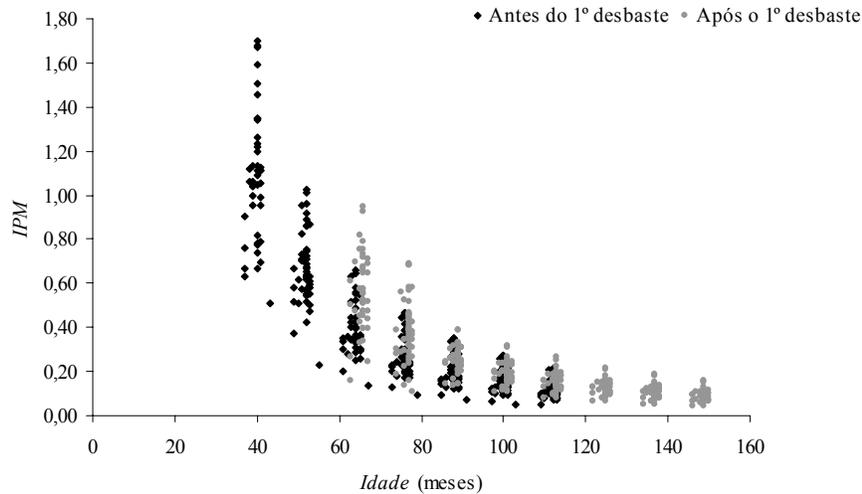


Figura 5 – Ingresso percentual médio (*IPM*) antes e após o primeiro desbaste em função da idade, considerando os dados do projeto C.

3.4. Simulação de desbastes

O sistema de equações proposto permite simular diferentes cenários envolvendo desbaste, como, por exemplo, diferentes porcentagens de redução da área basal, locais com capacidade produtiva diferentes, desbaste aplicado em idades diferentes e diferentes tipos de desbaste. Para exemplificar essa versatilidade do modelo de distribuição diamétrica, foram simulados os seguintes cenários, no projeto C: redução de 40% na área basal do povoamento, removendo árvores somente nas classes inferiores; e redução de 40% na área basal do povoamento, removendo árvores em todas as classes de diâmetros. Os desbastes foram simulados aos 97 meses para a classe de produtividade III e aos 87 meses para a classe de produtividade I. As distribuições diamétricas aos 87 e 97 meses foram obtidas a partir da projeção da distribuição média observada na última medição antes do primeiro desbaste, nas respectivas classes de produtividade (classe I: 39 meses e classe III: 40 meses). As estimativas projetadas são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Estimativas das variáveis que compõem o sistema de equações, projetadas para as idades técnicas de desbastes, a partir da distribuição observada aos 45 meses, considerando as classes de produtividade I e III

<i>Idade</i> (meses)	<i>dmax</i> (cm)	β	γ	<i>N</i>	<i>dmin</i> (cm)
Classe I - Site 14					
39*	17,0	10,903	3,932	1441	2,5
87	26,7	20,032	4,052	1437	4,1
Classe III – Site 7					
40*	12,0	6,319	3,354	1231	2,5
97	18,2	13,463	3,443	1228	4,3

* Valores observados.

No cenário 1, o desbaste consistiu em remover as árvores das menores classes de diâmetros. Nesse caso, as áreas basais das árvores removidas foram contabilizadas e somadas até atingir a porcentagem de redução de área basal desejada. No cenário 2, a colheita foi simulada proporcionalmente em todas as classes de diâmetro. As distribuições dos diâmetros das árvores desbastadas e remanescentes desses cenários são apresentadas na Figura 6. Cabe lembrar que o cenário 2 não é recomendado para a produção de árvores de grande porte, pois são removidas árvores tecnicamente adequadas (árvores de grande porte) e mantidas árvores inadequadas (árvores de pequeno porte). As produções desbastadas são apresentadas nos Quadros 5, 6, 7 e 8.

Quadro 5 – Produção com base na distribuição de diâmetros para volume até o diâmetro mínimo igual a 4 cm, considerando um desbaste de 40% da área basal aos 97 e 87 meses, para as classes de produtividade III e I, respectivamente, removendo árvores das classes de diâmetros inferiores

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V4cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe III - Site 7														
97	4,5	21	0,034	4,4	0,05	0,02					21	0,034	0,05	0,02
97	5,5	34	0,080	5,0	0,19	0,09					34	0,080	0,19	0,09
97	6,5	49	0,162	5,6	0,44	0,22					49	0,162	0,44	0,22
97	7,5	66	0,291	6,2	0,86	0,48					66	0,291	0,86	0,48
97	8,5	83	0,472	6,8	1,49	0,89					83	0,472	1,49	0,89
97	9,5	99	0,702	7,4	2,36	1,48					99	0,702	2,36	1,48
97	10,5	112	0,967	8,0	3,45	2,26					112	0,967	3,45	2,26
97	11,5	119	1,238	8,6	4,67	3,18					119	1,238	4,67	3,18
97	12,5	120	1,478	9,2	5,87	4,12					120	1,478	5,87	4,12
97	13,5	115	1,645	9,8	6,85	4,94	73	1,040	4,33	3,12	42	0,605	2,52	1,82
97	14,5	103	1,706	10,4	7,44	5,48	103	1,706	7,44	5,48				
97	15,5	87	1,646	11,0	7,49	5,63	87	1,646	7,49	5,63				
97	16,5	69	1,472	11,6	6,99	5,34	69	1,472	6,99	5,34				
97	17,5	51	1,219	12,2	6,02	4,67	51	1,219	6,02	4,67				
97	18,5	35	0,929	12,8	4,76	3,75	35	0,929	4,76	3,75				
97	19,5	22	0,650	13,4	3,46	2,76	22	0,650	3,46	2,76				
97	20,5	13	0,416	14,0	2,29	1,84	13	0,416	2,29	1,84				
Total		1197	15,1		64,68	47,14	452	9,1	42,78	32,59	746	6,0	21,90	14,54

Continua . . .

Quadro 5, Cont.

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V4cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe I - Site 14														
87	4,5	3	0,005	7,8	0,01	0,01					3	0,005	0,01	0,01
87	5,5	6	0,013	8,4	0,06	0,03					6	0,013	0,06	0,03
87	6,5	9	0,031	9,0	0,15	0,08					9	0,031	0,15	0,08
87	7,5	14	0,063	9,6	0,32	0,18					14	0,063	0,32	0,18
87	8,5	21	0,117	10,2	0,62	0,37					21	0,117	0,62	0,37
87	9,5	28	0,202	10,8	1,09	0,68					28	0,202	1,09	0,68
87	10,5	38	0,326	11,4	1,82	1,19					38	0,326	1,82	1,19
87	11,5	48	0,500	12,0	2,86	1,95					48	0,500	2,86	1,95
87	12,5	59	0,730	12,6	4,29	3,01					59	0,730	4,29	3,01
87	13,5	71	1,019	13,2	6,16	4,44					71	1,019	6,16	4,44
87	14,5	83	1,366	13,8	8,49	6,25					83	1,366	8,49	6,25
87	15,5	93	1,759	14,4	11,22	8,43					93	1,759	11,22	8,43
87	16,5	102	2,178	15,0	14,26	10,90					102	2,178	14,26	10,90
87	17,5	108	2,593	15,6	17,41	13,52					108	2,593	17,41	13,52
87	18,5	110	2,966	16,2	20,42	16,07					110	2,966	20,42	16,07
87	19,5	109	3,257	16,8	22,98	18,31	52	1,548	10,92	8,70	57	1,710	12,06	9,61
87	20,5	104	3,429	17,4	24,77	19,96	104	3,429	24,77	19,96				
87	21,5	95	3,453	18,0	25,54	20,78	95	3,453	25,54	20,78				
87	22,5	83	3,320	18,6	25,12	20,63	83	3,320	25,12	20,63				
87	23,5	70	3,039	19,2	23,51	19,47	70	3,039	23,51	19,47				
87	24,5	56	2,642	19,8	20,89	17,43	56	2,642	20,89	17,43				
87	25,5	43	2,175	20,4	17,56	14,76	43	2,175	17,56	14,76				
87	26,5	31	1,689	21,0	13,93	11,78	31	1,689	13,93	11,78				
87	27,5	21	1,233	21,6	10,38	8,83	21	1,233	10,38	8,83				
87	28,5	13	0,844	22,2	7,24	6,20	13	0,844	7,24	6,20				
Total		1419	38,9		281,11	225,27	568	23,4	179,86	148,56	851	15,6	101,25	76,71

Quadro 6 – Produção com base na distribuição de diâmetros para volume até o diâmetro mínimo igual a 15 cm, considerando um desbaste de 40% da área basal aos 97 e 87 meses, para as classes de produtividade III e I, respectivamente, removendo árvores das classes de diâmetros inferiores

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V15cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe III - Site 7														
97	4,5	21	0,034	4,4	0,00	0,00					21	0,034	0,00	0,00
97	5,5	34	0,080	5,0	0,00	0,00					34	0,080	0,00	0,00
97	6,5	49	0,162	5,6	0,00	0,00					49	0,162	0,00	0,00
97	7,5	66	0,291	6,2	0,00	0,00					66	0,291	0,00	0,00
97	8,5	83	0,472	6,8	0,00	0,00					83	0,472	0,00	0,00
97	9,5	99	0,702	7,4	0,00	0,00					99	0,702	0,00	0,00
97	10,5	112	0,967	8,0	0,00	0,00					112	0,967	0,00	0,00
97	11,5	119	1,238	8,6	0,00	0,00					119	1,238	0,00	0,00
97	12,5	120	1,478	9,2	0,00	0,00					120	1,478	0,00	0,00
97	13,5	115	1,645	9,8	0,00	0,00	73	1,040	0,00	0,00	42	0,605	0,00	0,00
97	14,5	103	1,706	10,4	0,00	0,00	103	1,706	0,00	0,00				
97	15,5	87	1,646	11,0	4,54	3,41	87	1,646	4,54	3,41				
97	16,5	69	1,472	11,6	6,52	4,99	69	1,472	6,52	4,99				
97	17,5	51	1,219	12,2	5,94	4,61	51	1,219	5,94	4,61				
97	18,5	35	0,929	12,8	4,75	3,74	35	0,929	4,75	3,74				
97	19,5	22	0,650	13,4	3,46	2,75	22	0,650	3,46	2,75				
97	20,5	13	0,416	14,0	2,29	1,84	13	0,416	2,29	1,84				
Total		1197	15,1		27,50	21,34	452	9,1	27,50	21,34	746	6,0	0,00	0,00

Continua . . .

Quadro 6, Cont.														
<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V15cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe I - Site 14														
87	4,5	3	0,005	7,8	0,00	0,00					3	0,005	0,00	0,00
87	5,5	6	0,013	8,4	0,00	0,00					6	0,013	0,00	0,00
87	6,5	9	0,031	9,0	0,00	0,00					9	0,031	0,00	0,00
87	7,5	14	0,063	9,6	0,00	0,00					14	0,063	0,00	0,00
87	8,5	21	0,117	10,2	0,00	0,00					21	0,117	0,00	0,00
87	9,5	28	0,202	10,8	0,00	0,00					28	0,202	0,00	0,00
87	10,5	38	0,326	11,4	0,00	0,00					38	0,326	0,00	0,00
87	11,5	48	0,500	12,0	0,00	0,00					48	0,500	0,00	0,00
87	12,5	59	0,730	12,6	0,00	0,00					59	0,730	0,00	0,00
87	13,5	71	1,019	13,2	0,00	0,00					71	1,019	0,00	0,00
87	14,5	83	1,366	13,8	0,00	0,00					83	1,366	0,00	0,00
87	15,5	93	1,759	14,4	6,80	5,11					93	1,759	6,80	5,11
87	16,5	102	2,178	15,0	13,31	10,17					102	2,178	13,31	10,17
87	17,5	108	2,593	15,6	17,19	13,35					108	2,593	17,19	13,35
87	18,5	110	2,966	16,2	20,37	16,03					110	2,966	20,37	16,03
87	19,5	109	3,257	16,8	22,97	18,30	52	1,548	10,91	8,70	57	1,710	12,06	9,61
87	20,5	104	3,429	17,4	24,77	19,96	104	3,429	24,77	19,96				
87	21,5	95	3,453	18,0	25,54	20,78	95	3,453	25,54	20,78				
87	22,5	83	3,320	18,6	25,12	20,63	83	3,320	25,12	20,63				
87	23,5	70	3,039	19,2	23,51	19,47	70	3,039	23,51	19,47				
87	24,5	56	2,642	19,8	20,89	17,43	56	2,642	20,89	17,43				
87	25,5	43	2,175	20,4	17,56	14,76	43	2,175	17,56	14,76				
87	26,5	31	1,689	21,0	13,93	11,78	31	1,689	13,93	11,78				
87	27,5	21	1,233	21,6	10,38	8,83	21	1,233	10,38	8,83				
87	28,5	13	0,844	22,2	7,24	6,20	13	0,844	7,24	6,20				
Total		1419	38,9		249,57	202,81	568	23,4	179,85	148,55	851	15,6	69,72	54,27

Quadro 7 – Produção com base na distribuição de diâmetros para volume até o diâmetro mínimo igual a 4 cm, considerando um desbaste de 40% da área basal aos 97 e 87 meses, para as classes de produtividade III e I, respectivamente, removendo árvores em todas as classes de diâmetros

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V4cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe III - Site 7														
97	4,5	21	0,034	4,4	0,05	0,02	13	0,020	0,03	0,01	8	0,014	0,02	0,01
97	5,5	34	0,080	5,0	0,19	0,09	20	0,048	0,11	0,05	14	0,032	0,08	0,03
97	6,5	49	0,162	5,6	0,44	0,22	29	0,097	0,26	0,13	20	0,065	0,18	0,09
97	7,5	66	0,291	6,2	0,86	0,48	39	0,174	0,52	0,29	26	0,116	0,34	0,19
97	8,5	83	0,472	6,8	1,49	0,89	50	0,283	0,90	0,53	33	0,189	0,60	0,35
97	9,5	99	0,702	7,4	2,36	1,48	59	0,421	1,42	0,89	40	0,281	0,95	0,59
97	10,5	112	0,967	8,0	3,45	2,26	67	0,580	2,07	1,36	45	0,387	1,38	0,91
97	11,5	119	1,238	8,6	4,67	3,18	72	0,743	2,80	1,91	48	0,495	1,87	1,27
97	13,5	115	1,645	9,8	6,85	4,94	69	0,987	4,11	2,96	46	0,658	2,74	1,97
97	14,5	103	1,706	10,4	7,44	5,48	62	1,024	4,46	3,29	41	0,683	2,98	2,19
97	15,5	87	1,646	11,0	7,49	5,63	52	0,987	4,50	3,38	35	0,658	3,00	2,25
97	16,5	69	1,472	11,6	6,99	5,34	41	0,883	4,19	3,21	28	0,589	2,80	2,14
97	17,5	51	1,219	12,2	6,02	4,67	30	0,731	3,61	2,80	20	0,487	2,41	1,87
97	18,5	35	0,929	12,8	4,76	3,75	21	0,558	2,86	2,25	14	0,372	1,91	1,50
97	19,5	22	0,650	13,4	3,46	2,76	13	0,390	2,07	1,65	9	0,260	1,38	1,10
97	20,5	13	0,416	14,0	2,29	1,84	8	0,250	1,37	1,11	5	0,166	0,92	0,74
Total		1197	15,1		64,68	47,14	718	9,1	38,81	28,28	479	6,0	25,87	18,85

Continua . . .

Quadro 7, Cont.														
<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V4cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V4cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V4sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe I - Site 14														
87	4,5	3	0,005	7,8	0,01	0,01	2	0,003	0,01	0,00	1	0,002	0,01	0,00
87	5,5	6	0,013	8,4	0,06	0,03	3	0,008	0,04	0,02	2	0,005	0,02	0,01
87	6,5	9	0,031	9,0	0,15	0,08	6	0,019	0,09	0,05	4	0,012	0,06	0,03
87	7,5	14	0,063	9,6	0,32	0,18	9	0,038	0,19	0,11	6	0,025	0,13	0,07
87	8,5	21	0,117	10,2	0,62	0,37	12	0,070	0,37	0,22	8	0,047	0,25	0,15
87	9,5	28	0,202	10,8	1,09	0,68	17	0,121	0,65	0,41	11	0,081	0,44	0,27
87	10,5	38	0,326	11,4	1,82	1,19	23	0,196	1,09	0,71	15	0,131	0,73	0,48
87	11,5	48	0,500	12,0	2,86	1,95	29	0,300	1,72	1,17	19	0,200	1,14	0,78
87	12,5	59	0,730	12,6	4,29	3,01	36	0,438	2,58	1,81	24	0,292	1,72	1,20
87	13,5	71	1,019	13,2	6,16	4,44	43	0,612	3,70	2,66	28	0,408	2,47	1,78
87	14,5	83	1,366	13,8	8,49	6,25	50	0,820	5,09	3,75	33	0,546	3,39	2,50
87	15,5	93	1,759	14,4	11,22	8,43	56	1,055	6,73	5,06	37	0,704	4,49	3,37
87	16,5	102	2,178	15,0	14,26	10,90	61	1,307	8,56	6,54	41	0,871	5,70	4,36
87	17,5	108	2,593	15,6	17,41	13,52	65	1,556	10,45	8,11	43	1,037	6,97	5,41
87	18,5	110	2,966	16,2	20,42	16,07	66	1,780	12,25	9,64	44	1,186	8,17	6,43
87	19,5	109	3,257	16,8	22,98	18,31	65	1,954	13,79	10,99	44	1,303	9,19	7,32
87	20,5	104	3,429	17,4	24,77	19,96	62	2,057	14,86	11,98	42	1,372	9,91	7,98
87	21,5	95	3,453	18,0	25,54	20,78	57	2,072	15,32	12,47	38	1,381	10,22	8,31
87	22,5	83	3,320	18,6	25,12	20,63	50	1,992	15,07	12,38	33	1,328	10,05	8,25
87	23,5	70	3,039	19,2	23,51	19,47	42	1,824	14,11	11,68	28	1,216	9,40	7,79
87	24,5	56	2,642	19,8	20,89	17,43	34	1,585	12,53	10,46	22	1,057	8,36	6,97
87	25,5	43	2,175	20,4	17,56	14,76	26	1,305	10,54	8,86	17	0,870	7,02	5,90
87	26,5	31	1,689	21,0	13,93	11,78	18	1,013	8,36	7,07	12	0,676	5,57	4,71
87	27,5	21	1,233	21,6	10,38	8,83	12	0,740	6,23	5,30	8	0,493	4,15	3,53
87	28,5	13	0,844	22,2	7,24	6,20	8	0,506	4,35	3,72	5	0,338	2,90	2,48
Total		1419	38,9		281,11	225,27	851	23,4	168,67	135,16	567	15,6	112,44	90,11

Quadro 8 – Produção baseada na distribuição de diâmetros para volume até o diâmetro mínimo igual a 15 cm, considerando um desbaste de 40% da área basal aos 97 e 87 meses, para as classes de produtividade III e I, respectivamente, removendo árvores em todas as classes de diâmetros

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V15cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe III - Site 7														
97	4,5	21	0,034	4,4	0,00	0,00	13	0,020	0,00	0,00	8	0,014	0,00	0,00
97	5,5	34	0,080	5,0	0,00	0,00	20	0,048	0,00	0,00	14	0,032	0,00	0,00
97	6,5	49	0,162	5,6	0,00	0,00	29	0,097	0,00	0,00	20	0,065	0,00	0,00
97	7,5	66	0,291	6,2	0,00	0,00	39	0,174	0,00	0,00	26	0,116	0,00	0,00
97	8,5	83	0,472	6,8	0,00	0,00	50	0,283	0,00	0,00	33	0,189	0,00	0,00
97	9,5	99	0,702	7,4	0,00	0,00	59	0,421	0,00	0,00	40	0,281	0,00	0,00
97	10,5	112	0,967	8,0	0,00	0,00	67	0,580	0,00	0,00	45	0,387	0,00	0,00
97	11,5	119	1,238	8,6	0,00	0,00	72	0,743	0,00	0,00	48	0,495	0,00	0,00
97	12,5	120	1,478	9,2	0,00	0,00	72	0,887	0,00	0,00	48	0,591	0,00	0,00
97	13,5	115	1,645	9,8	0,00	0,00	69	0,987	0,00	0,00	46	0,658	0,00	0,00
97	14,5	103	1,706	10,4	0,00	0,00	62	1,024	0,00	0,00	41	0,683	0,00	0,00
97	15,5	87	1,646	11,0	4,54	3,41	52	0,987	2,72	2,05	35	0,658	1,82	1,36
97	16,5	69	1,472	11,6	6,52	4,99	41	0,883	3,91	2,99	28	0,589	2,61	1,99
97	17,5	51	1,219	12,2	5,94	4,61	30	0,731	3,56	2,77	20	0,487	2,38	1,84
97	18,5	35	0,929	12,8	4,75	3,74	21	0,558	2,85	2,24	14	0,372	1,90	1,50
97	19,5	22	0,650	13,4	3,46	2,75	13	0,390	2,07	1,65	9	0,260	1,38	1,10
97	20,5	13	0,416	14,0	2,29	1,84	8	0,250	1,37	1,11	5	0,166	0,92	0,74
Total		1197	15,1		27,50	21,34	718	9,1	16,50	12,81	479	6,0	11,00	8,54

Continua . . .

Quadro 8, Cont.

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> <i>total</i>	<i>B</i> <i>total</i> (m ² /ha)	<i>Ht</i> <i>total</i> (m)	<i>V15cc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>total</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>remanescente</i>	<i>B</i> <i>remanescente</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>remanescente</i> (m ³ /ha)	<i>N</i> <i>desbastado</i>	<i>B</i> <i>desbastado</i> (m ² /ha)	<i>V15cc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)	<i>V15sc</i> <i>desbastado</i> (m ³ /ha)
Classe I - Site 14														
87	4,5	3	0,005	7,8	0,00	0,00	2	0,003	0,00	0,00	1	0,002	0,00	0,00
87	5,5	6	0,013	8,4	0,00	0,00	3	0,008	0,00	0,00	2	0,005	0,00	0,00
87	6,5	9	0,031	9,0	0,00	0,00	6	0,019	0,00	0,00	4	0,012	0,00	0,00
87	7,5	14	0,063	9,6	0,00	0,00	9	0,038	0,00	0,00	6	0,025	0,00	0,00
87	8,5	21	0,117	10,2	0,00	0,00	12	0,070	0,00	0,00	8	0,047	0,00	0,00
87	9,5	28	0,202	10,8	0,00	0,00	17	0,121	0,00	0,00	11	0,081	0,00	0,00
87	10,5	38	0,326	11,4	0,00	0,00	23	0,196	0,00	0,00	15	0,131	0,00	0,00
87	11,5	48	0,500	12,0	0,00	0,00	29	0,300	0,00	0,00	19	0,200	0,00	0,00
87	12,5	59	0,730	12,6	0,00	0,00	36	0,438	0,00	0,00	24	0,292	0,00	0,00
87	13,5	71	1,019	13,2	0,00	0,00	43	0,612	0,00	0,00	28	0,408	0,00	0,00
87	14,5	83	1,366	13,8	0,00	0,00	50	0,820	0,00	0,00	33	0,546	0,00	0,00
87	15,5	93	1,759	14,4	6,80	5,11	56	1,055	4,08	3,06	37	0,704	2,72	2,04
87	16,5	102	2,178	15,0	13,31	10,17	61	1,307	7,98	6,10	41	0,871	5,32	4,07
87	17,5	108	2,593	15,6	17,19	13,35	65	1,556	10,32	8,01	43	1,037	6,88	5,34
87	18,5	110	2,966	16,2	20,37	16,03	66	1,780	12,22	9,62	44	1,186	8,15	6,41
87	19,5	109	3,257	16,8	22,97	18,30	65	1,954	13,78	10,98	44	1,303	9,19	7,32
87	20,5	104	3,429	17,4	24,77	19,96	62	2,057	14,86	11,97	42	1,372	9,91	7,98
87	21,5	95	3,453	18,0	25,54	20,78	57	2,072	15,32	12,47	38	1,381	10,21	8,31
87	22,5	83	3,320	18,6	25,12	20,63	50	1,992	15,07	12,38	33	1,328	10,05	8,25
87	23,5	70	3,039	19,2	23,51	19,47	42	1,824	14,11	11,68	28	1,216	9,40	7,79
87	24,5	56	2,642	19,8	20,89	17,43	34	1,585	12,53	10,46	22	1,057	8,36	6,97
87	25,5	43	2,175	20,4	17,56	14,76	26	1,305	10,54	8,86	17	0,870	7,02	5,90
87	26,5	31	1,689	21,0	13,93	11,78	18	1,013	8,36	7,07	12	0,676	5,57	4,71
87	27,5	21	1,233	21,6	10,38	8,83	12	0,740	6,23	5,30	8	0,493	4,15	3,53
87	28,5	13	0,844	22,2	7,24	6,20	8	0,506	4,35	3,72	5	0,338	2,90	2,48
Total		1419	38,9		249,57	202,81	851	23,4	149,74	121,69	567	15,6	99,83	81,13

Os resultados apresentados nos Quadros 5, 6, 7 e 8 comprovam que o modelo de distribuição diamétrica proposto foi adequado para a realização de simulações de desbaste. Por exemplo, o modelo foi lógico e biologicamente correto, pois, para os dois cenários, o índice de local maior proporcionou maior produção em volume total, remanescente e desbastado, do que o índice de local menor. Outro exemplo é o fato de que, enquanto muitas árvores desbastadas são aproveitadas para energia, poucas são aproveitadas para serraria. No Quadro 5, para a classe de produtividade III, observa-se que nenhuma árvore foi aproveitada para serraria, o que era esperado, visto que na época do primeiro desbaste poucas árvores possuem dimensões apropriadas para esta finalidade.

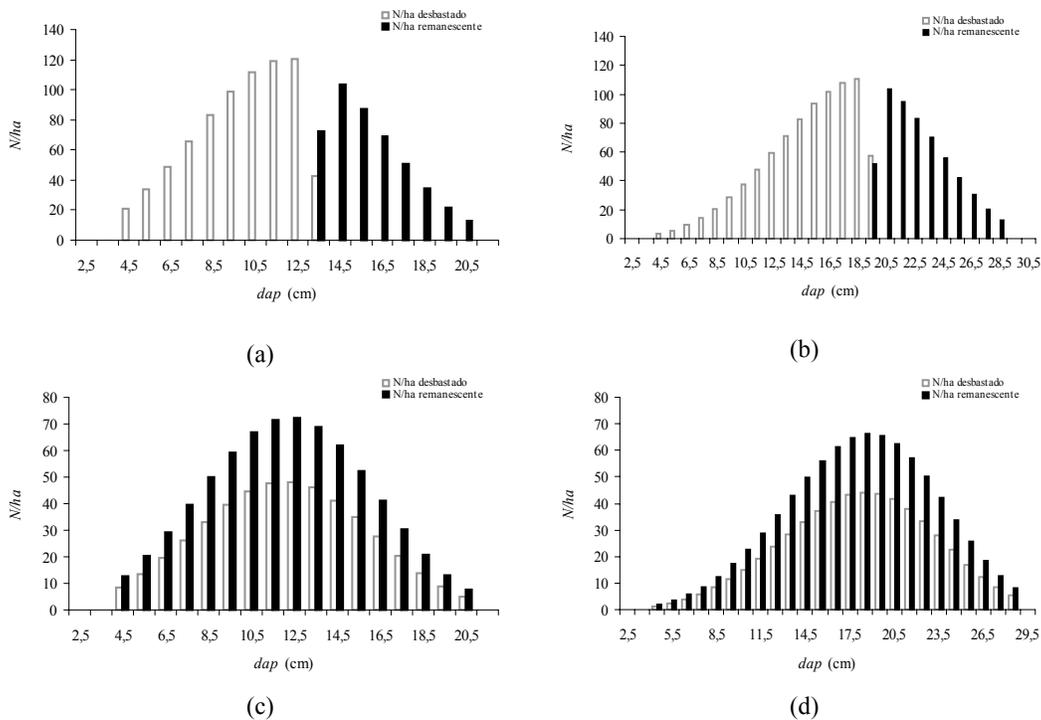


Figura 6 – Número de árvores desbastadas e remanescentes, considerando um desbaste seletivo de 40% da área basal, removendo árvores nas classes de diâmetros inferiores, para as classes de produtividade III (a) e I (b), e removendo árvores em todas as classes de diâmetros, para as classes de produtividade III (c) e I (d).

As distribuições diamétricas remanescentes do primeiro desbaste, para a classe de produtividade I, considerando as reduções de 20, 30, 40, 50 e 60% da área basal, para os cenários 1 e 2, são apresentadas na Figura 7. Esta figura permite mostrar a flexibilidade do modelo de distribuição diamétrica na simulação de diferentes intensidades de desbaste. A projeção das distribuições para idades futuras, considerando a redução de 40% da área basal, é apresentada na Figura 8.

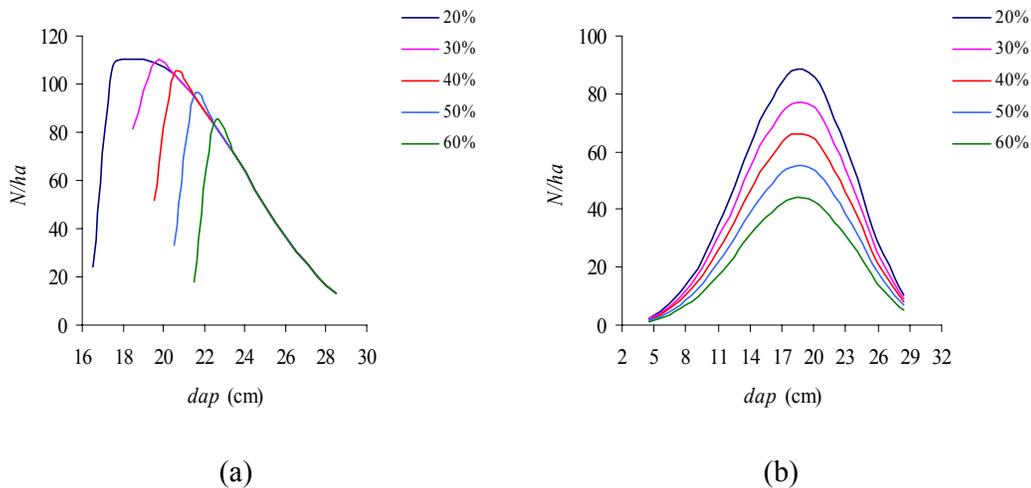


Figura 7 – Distribuições diamétricas remanescentes do desbaste aos 87 meses, para a classe de produtividade I, com redução de 20, 30, 40, 50 e 60% da área basal, considerando a colheita nas classes de diâmetros inferiores (a) e em todas as classes de diâmetros (b).

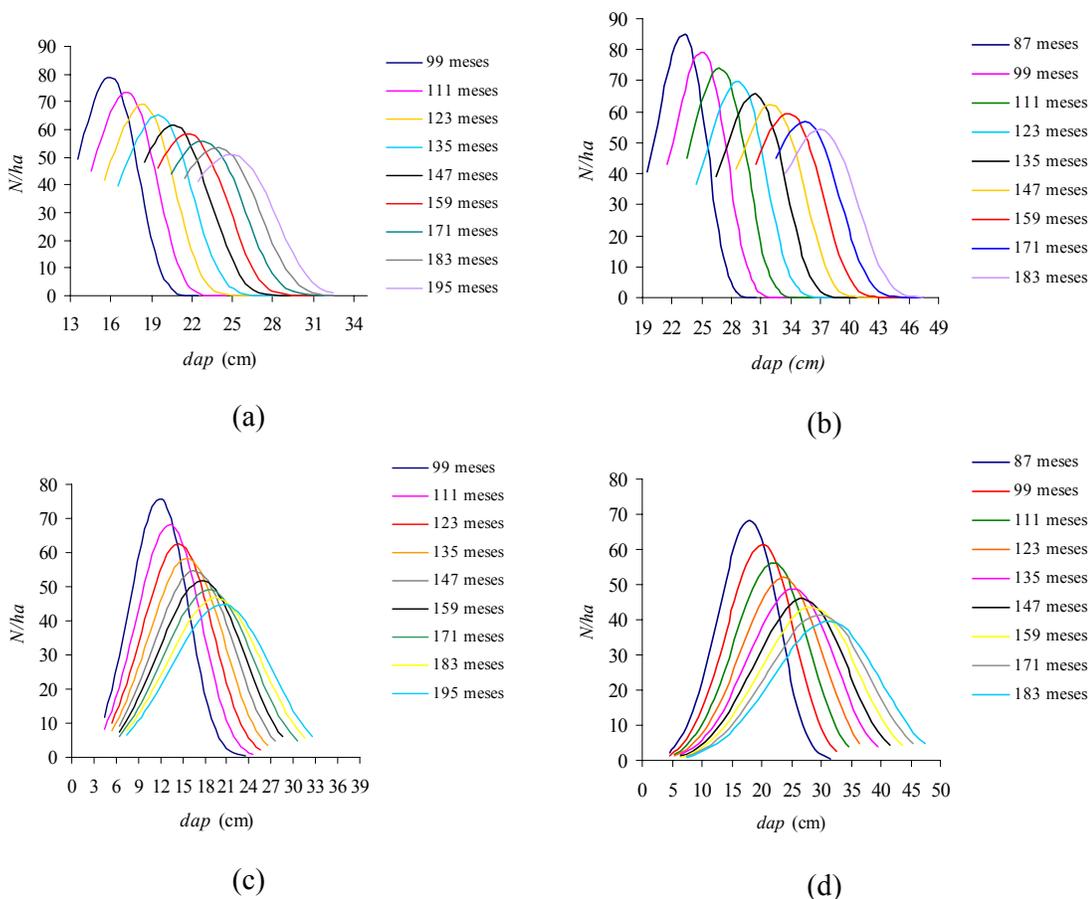


Figura 8 – Distribuições diamétricas projetadas para idades futuras a partir da distribuição remanescente do desbaste de 40% da área basal, considerando a colheita de árvores nas classes de diâmetros inferiores, para as classes de produtividade III (a) e I (b), e em todas as classes de diâmetros, para as classes de produtividade III (c) e I (d).

Verifica-se que os ingressos percentuais de árvores em sucessivas classes de diâmetros, nas classes de produtividade I e III, não diminuem ao longo do tempo (Figura 8a, b). Esse comportamento não está de acordo com a tendência lógica esperada. Isso permite concluir que o modelo de distribuição diamétrica não foi adequado para projetar a distribuição diamétrica remanescente para idades futuras, quando foi considerada a colheita das árvores apenas nas classes de diâmetros inferiores. Este tipo de desbaste gera valores altos para as estimativas do parâmetro γ , indicando que o povoamento está livre de competição. Conforme mencionado no item 3.2, as estimativas do parâmetro γ , projetadas para idades futuras pelo sistema de equações, permanecem praticamente inalteradas. Com isso, as áreas referentes aos ingressos de árvores em sucessivas classes de diâmetros também permanecem constantes ao longo do tempo.

Para o desbaste do cenário 2 (Figuras 8c, d), os ingressos percentuais de árvores em sucessivas classes de diâmetros, nas classes de produtividade I e III, diminuem ao longo do tempo. Pode-se verificar visualmente que a partir dos 123 meses os ingressos percentuais médios mensais não são mais significativos. Assim, o sistema de equações é adequado para projetar a distribuição diamétrica remanescente para idades futuras, quando a simulação envolve desbaste em todas as classes de diâmetros. Isso porque os valores das estimativas obtidos pela simulação são semelhantes aos valores observados, já que o tipo de desbaste simulado apresenta características parecidas com o que foi realizado no povoamento.

Diante dos resultados apresentados na Figura 8, pode-se inferir que a aplicação do modelo de distribuição diamétrica proposto depende diretamente dos dados observados. Assim, para que a aplicação do modelo de distribuição diamétrica não fique limitada, é necessário que o sistema de equações seja ajustado a uma base de dados específica para estudos de desbastes. No Capítulo 2, por exemplo, foi apresentado um sistema de equação capaz de simular qualquer tipo de desbaste. Isso só foi possível porque o modelo de distribuição diamétrica foi ajustado aos dados de um experimento previamente planejado, com parcelas permanentes retangulares, de área útil igual a 2.600 m², localizadas segundo diferentes capacidades produtivas. O povoamento experimental (povoamento de eucalipto) foi desbastado em uma idade próxima da idade técnica de desbaste, empregando diferentes intensidades de desbaste. O desbaste foi seletivo, eliminando os piores indivíduos. Em síntese, para construir um modelo de distribuição diamétrica para povoamento desbastado capaz de simular qualquer tipo e intensidade de desbaste, além de gerar estimativas precisas e em conformidade com o

realismo biológico, são necessários dados confiáveis, procedentes de um estudo previamente planejado. Nesse sentido, CAMPOS e LEITE (2002) apresentaram alguns requisitos para instalação de experimentos visando o estudo do efeito de desbastes:

- Estabelecer um delineamento de amostragem, com parcelas dispostas em blocos. Os blocos e os tratamentos (intensidades de desbaste) devem ser repetidos para garantir a representatividade do local e o número de casos suficientes para análise de regressão.
- Instalar parcelas permanentes retangulares, com área maior ou igual a 2.500 m². Se for preciso, corrigir o efeito do declive do terreno.
- Localizar as parcelas permanentes no mínimo em três locais, nas condições de produtividade *boa, média e ruim*.
- Medir as parcelas permanentes anualmente, a partir do segundo ano.
- Realizar os desbastes nas idades em que o povoamento iniciar a estagnação do crescimento. Para determinar essa idade, recomenda-se o método dos ingressos percentuais.
- Empregar diferentes intensidades de desbaste, com base na redução de área basal.

O modelo proposto é adequado para estimar crescimento e produção nos projetos contemplados. Contudo, para determinação dos próximos desbastes é recomendável calibrar o modelo ou reajustar o sistema de equações utilizando dados de novas medições. Apesar das considerações anteriores, o modelo traduz exatamente o que está acontecendo nos povoamentos contemplados nas análises, sendo útil para propósito de manejo florestal.

4. CONCLUSÕES

A avaliação qualitativa do modelo de distribuição diamétrica aplicado em povoamentos de teca permitiu concluir que:

- ✓ O sistema de equações proposto proporciona estimativas que seguem uma tendência lógica do ponto de vista biológico.
- ✓ O método dos ingressos percentuais é adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste.

- ✓ O sistema de equações permite analisar diferentes cenários envolvendo desbastes. No entanto, ao projetar as distribuições para idades futuras, apenas as simulações que contemplam as condições observadas proporcionam estimativas consistentes.
- ✓ Para que a aplicação do modelo de distribuição diamétrica proposto não fique limitada às condições observadas, é necessário que o sistema de equações seja ajustado a dados oriundos de parcelas permanentes instaladas especificamente para estudos de desbastes. Isso reforça a idéia de implementação contínua de experimentos de desbaste em povoamentos de teca.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, S. **A Seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um modelo de programação dinâmica.** 1992. 199 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study.** New York: Pergamon Press, 1970. 506 p.

BURGER, D. **Ordenamento florestal I – A produção florestal.** Curitiba, PR: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1980. 124p.

BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for loblolly pine.** Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1981. 59 p. (Publ., FWS-2).

CAMPOS, J. C. C.; CAMPOS, A. L. A. S.; LEITE, H. G. Decisão silvicultural empregando um sistema de predição do crescimento e da produção. **Revista Árvore**, v. 12, n.2, p. 100-110, 1988.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas.** Viçosa: Editora UFV, 2002. 407 p.

CARNEIRO, J. G. de A. Desbastes florestais. **Revista Floresta**, v. 4, n. 3., p. 45-56, 1973.

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

DEAN, T. J.; BALDWIN JUNIOR, V. C. **Using a density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations**. New Orleans, LA: USDA, 1993. 7 p. (Research Paper, SO-275)

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes**. 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 79-87, 1999.

GARCIA, S. L. R. **Ingresso percentual: teoria e aplicações em ciência florestal**. Viçosa, [1999]. 20 p. Trabalho não publicado.

GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. 1994. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.

KRAJICEK, J. E.; BRINKMAN, K. A.; GINGRICH, S. F. Crown competition - a measure of density. **Forest Science**, v. 7, n. 1, p. 35-42, 1961.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. 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.

OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca - Nutriteca**. 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ROLLINSON, T. J. D. **Thinning control**. 3. ed. London: Her Majesty's Stationery Office, 1988. 56 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** 1990. 308 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.

SMITH, D. M. **The practice of silviculture.** 6. ed. New York: J. Wiley & Sons, 1962. 578 p.

SOARES, P.; TOMÉ, M.; SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Evaluation a growth model for forest management using continuous forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, v. 71, p. 251-265, 1995.

VALE, A. B.; OLIVEIRA, A. D.; FELFILI, J. M.; QUINTAES, P. C. G. Desbastes florestais. **Brasil Florestal**, v. 13, n. 59, p. 45-57, 1984.

VEIGA, A. A. **Curso de atualização florestal.** [S. L.]: Instituto Florestal - Secretaria da Agricultura, 1972. 346 p.

WYKOFF, W. R.; CROOKSTON, N. L.; STAGE, A. R. **User's guide to the stand prognosis model.** [S.L.]: USDA, 1982. 112 p. (General Technical Report, INT-133).

RESUMO E CONCLUSÕES

Os objetivos deste estudo foram desenvolver e avaliar, do ponto de vista estatístico e do ponto de vista do realismo biológico, modelos de distribuição diamétrica para povoamentos de eucalipto e de teca (*Tectona grandis* L. f.). Também foi objetivo avaliar a eficiência do método dos ingressos percentuais para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste em plantação de eucalipto e de teca.

Os dados para o desenvolvimento do modelo para povoamentos de eucalipto foram originários de um experimento sobre desbastes, instalado em povoamentos do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, pertencentes à empresa COPENER FLORESTAL, na região nordeste do Estado da Bahia. Os dados foram coletados em 48 parcelas permanentes retangulares, com área útil de aproximadamente 2.600 m², medidas aos 27, 40, 50, 58, 61, 76, 87, 101 e 112 meses, sendo o primeiro desbaste aplicado aos 58 meses, envolvendo diferentes reduções da área basal remanescente (colheram-se os piores indivíduos). O espaçamento inicial entre as árvores era de aproximadamente 3 x 3 m. Para a construção do modelo para povoamentos de teca, foram utilizados dados de 239 parcelas permanentes de 490,8 m², instaladas em povoamentos de teca, no Estado do Mato Grosso, de propriedade da empresa FLORESTECA AGROFLORESTAL Ltda. O espaçamento inicial entre as árvores era de 3 x 2 m, e as parcelas foram medidas em média aos 29, 35, 41, 45, 58, 70 e 81 meses. O primeiro desbaste foi realizado aos 58 meses (valor médio), sendo colhidos sistematicamente 36%, em média, do número de árvores.

A recuperação das distribuições diamétricas foi feita a partir de equações lineares e não-lineares entre os parâmetros da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2) e os parâmetros em uma idade atual (β_1 e γ_1) e com características do povoamento em uma idade atual e futura, como diâmetro máximo ($dmax_1$ e $dmax_2$) e diâmetro mínimo ($dmin_1$ e $dmin_2$). Foi utilizado um mesmo sistema de equações para prever o crescimento e a produção por classe de diâmetro antes e após o desbaste, tanto para eucalipto quanto para teca.

As avaliações quantitativas consistiram em analisar as equações que compõem os sistemas, a compatibilidade destes, a identidade entre eles e a avaliação das estimativas de produção total e por classe de diâmetro.

As avaliações qualitativas dos modelos consistiram em avaliar as idades técnicas de desbaste obtidas pelo método dos ingressos percentuais, as distribuições diamétricas projetadas para idades futuras e o comportamento da distribuição remanescente, após algumas simulações de desbaste. Essas avaliações foram feitas com base nas tendências lógicas esperadas do ponto de vista biológico.

O comportamento das projeções das distribuições diamétricas e dos ingressos percentuais ao longo do tempo, antes e após o desbaste, obtidas pelos modelos desenvolvidos, para povoamentos de eucalipto e de teca, foi teoricamente correto. Observou-se que a estagnação do processo de crescimento ocorre mais rapidamente após o desbaste. Os dados utilizados para ajustar o modelo para os povoamentos de eucalipto são mais apropriados para estudos de desbaste, permitindo simular qualquer tipo de cenário. Por outro lado, o modelo desenvolvido para povoamento de *teca* foi ajustado a uma base de dados limitada para estudos de desbaste; com isso, as projeções das distribuições diamétricas para idades futuras só puderam ser realizadas a partir de simulações que contemplassem as condições observadas no campo.

As principais conclusões relacionadas com o desenvolvimento e a avaliação do modelo de distribuição diamétrica, para povoamentos de eucalipto e de teca, foram:

- Os modelos propostos neste estudo são compatíveis e garantem a propriedade de que, quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual.
- Os modelos propostos são indicados para efetuar a redistribuição teórica dos diâmetros por classe em povoamentos desbastados de eucalipto e de teca.

- A predição dos parâmetros da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2) a partir dos parâmetros em uma idade atual (β_1 e γ_1) e das características do povoamento em uma idade atual e futura resultou em estimativas consistentes e precisas.
- Os modelos propostos são biologicamente corretos e consistentes.
- O método dos ingressos percentuais é adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste em povoamentos de eucalipto e de teca.
- A estagnação do crescimento é mais rápida após o desbaste.
- O modelo desenvolvido para povoamentos de eucalipto permite simular cenários que contemplam ou não as condições observadas no campo.
- A aplicação do modelo desenvolvido para os povoamentos de teca no que se refere à projeção da distribuição diamétrica para idades futuras é restrita, ou seja, as projeções devem ser realizadas somente a partir de simulações de desbastes que contemplem as condições observadas.
- Para que um modelo de distribuição diamétrica, desenvolvido para manejo de povoamentos equiâneos desbastados, possa ser aplicado sem restrições, é necessário que o sistema de equações seja ajustado a dados oriundos de parcelas permanentes instaladas especificamente para estudos de desbastes, ou, pelo menos, que os desbastes (ou tratamentos) sejam aplicados em idades tecnicamente corretas.

RECOMENDAÇÕES

Para aumentar a eficiência dos modelos de distribuição diamétrica propostos neste estudo, recomenda-se:

- Investigar a eficiência de outros métodos de ajuste para o sistema de equações, como o método dos mínimos quadrados em dois estágios.
- Ajustar a função Weibull considerando os truncamentos à direita e à esquerda da distribuição de diâmetro do povoamento. O truncamento à direita é necessário porque não existe um limite superior para a variável x ($0 \leq x < \infty$) na função Weibull, o que resulta em pequeno erro, pois a função estima frequências teóricas acima do diâmetro máximo. O truncamento à esquerda é necessário porque a estimação das frequências teóricas por classe de diâmetro após o desbaste, considerando somente a colheita de árvores nas classes de diâmetros inferiores, deve ser realizado a partir do diâmetro mínimo do povoamento remanescente. Portanto, recomenda-se o uso da função Weibull conforme proposto por WINGO (1988).
- Desenvolver modelos de programação dinâmica para determinar a intensidade ótima de desbaste, considerando o tempo como estágio e a distribuição diamétrica como estado, empregando os modelos propostos neste estudo.
- Implementar experimentos de desbaste em povoamentos de teca, segundo a metodologia apresentada no Capítulo 1 deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, S. **A Seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um modelo de programação dinâmica.** 1992. 199 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study.** New York: Pergamon Press, 1970. 506 p.

BAILEY, R. L. Individual tree growth derived from diameter distribution models. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 626-632, 1980.

BAILEY, R. L.; ABERNETHY, N. C.; JONES, E. P. Diameter distributions models for repeatedly thinned slash pine plantations. In: BIENNIAL SOUTH. SILVICUTURE RESEARCH CONFERENCE, 1, 1980, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: USDA, 1981. p. 115-126. (General Technical Report, SO-34).

BAILEY, R. L.; DELL, T. R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science**, v. 19, n. 2, p. 97-104, 1973.

BAILEY, R. L.; WARE, K. D. Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 13, n. 4, p. 563-571, 1983.

BUCKMAN, R. E. **Growth and yield of red pine in Minnesota.** Washington, D.C: USDA, 1962. 50 p. (Technical Bulletin, 1272).

BURGER, D. **Ordenamento florestal I – A produção florestal**. Curitiba, PR: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1980. 124p.

BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for loblolly pine**. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1981. 59 p. (Publ., FWS-2).

BURKHART, H. E.; SPRINZ, P. T. Compatible cubic volume and basal area projection equations for thinned old-field loblolly pine plantations. **Forest Science**, v. 30, n. 1, p. 86-93, 1984.

CAMPOS, J. C. C. **A growth and yield study in thinned, even-aged stands of *Pinus patula* in Brasil**. 1979. 143 f. Thesis (Ph. D.) – University of Washington, Seattle, Washington, 1979.

CAMPOS, J. C. C.; CAMPOS, A. L. A. S.; LEITE, H. G. Decisão silvicultural empregando um sistema de predição do crescimento e da produção. **Revista Árvore**, v. 12, n.2, p. 100-110, 1988.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: Editora UFV, 2002. 407 p.

CAMPOS, J. C. C.; ROSAS, M. P.; LEITE, H. G. Comparação de alternativas de determinação da idade técnica de corte em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 20, n.1, p. 37-49, 1996.

CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. **Revista Árvore**, v. 5, n. 1, p. 1-16, 1981.

CAO, Q. V.; BURKHART, H. E.; LEMIN JUNIOR, R. C. **Diameter distributions and yields of thinned loblolly pine plantations**. Blacksburg, VA: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1982. 62 p. (Publ., FWS-1).

CARNEIRO, J. G. de A. Desbastes florestais. **Revista Floresta**, v. 4, n. 3., p. 45-56, 1973.

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest Science**, v.9, n.3, p.354-371, 1963.

CLUTTER, J. L.; BENNETT, F. A. **Diameter distributions in old-field slash pine plantations**. [Macon, GA]: Georgia Forest Research Council, 1965. 9 p. (Report, 13).

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

CLUTTER, J. L.; JONES, E. P. **Prediction of growth after thinning in old-field slash pine plantations**. Asheville: USDA, 1980. 14 p. (Research Paper, SE-217).

CTFT. Teak. **Bois et Forêts des Tropics**, n. 224, p. 39-47, 1990.

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

DEAN, T. J.; BALDWIN JUNIOR, V. C. **Using a density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations**. New Orleans, LA: USDA, 1993. 7 p. (Research Paper, SO-275)

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes**. 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 79-87, 1999.

GARCIA, S. L. R. **Ingresso percentual: teoria e aplicações em ciência florestal**. Viçosa, [1999]. 20 p. Trabalho não publicado.

GOUDRIAAN, J. Using the exponential growth equation to analyse resource capture. In: MONTEITH, J. L.; SCOOT, R. K.; UNSWORTH, M. H. **Resource capture by crops**. Nottingham: University Press, 1994. p. 99-110.

GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto.** 1994. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation.** London: Faber and Faber, 1959. 123 p.

KNOEBELL, B. R.; BURKHART, H. E.; BECK, D. E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar. **Forest Science** (monograph, 27), v. 32, n. 2, 62 p., 1986.

KRAJICEK, J. E.; BRINKMAN, K. A.; GINGRICH, S. F. Crown competition - a measure of density. **Forest Science**, v. 7, n. 1, p. 35-42, 1961.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado.** Eschborn: Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990. 343 p.

LEITE, H. G. **Ajuste de um modelo de estimação de frequência e produção por classe de diâmetro, para povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith.** 1990. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, v. 19, n.1, p. 65-79, 1995.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. L. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, issue 7 e 8, 2002.

LEVELS-OF-GROWING-STOCK cooperative study in Douglas-fir. Victoria, BC: Natural Resources Canada; Canadian Forest Service e Pacific Forestry, 2002. p. 4. (Information forestry).

MATNEY, T. G.; SULLIVAN, A. D. Compatible stand and stock tables for thinned and unthinned loblolly pine stands. **Forest Science**, v. 28, n. 1, p. 161-171, 1982.

MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L. F.) cultivada na Grande Cáceres - Mato Grosso.** 1989. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1989.

MURPHY, P. A.; STERNITZKE, H. S. **Growth and yield estimation for loblolly pine in the West Gulf.** New Orleans, La: USDA, 1979. 8 p. (Research Paper, SO-154).

NEBECKER, T. E.; HODGES, J. D.; KARR, B. K.; MOEHRING, D. M. **Thinning practices in southern pines.** [S. L.]: USDA, 1985. 36 p.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. 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.

OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca - Nutriteca.** 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

PECE DE RIOS, M. G. D. V. **Um modelo de crescimento e produção aplicado a plantações de *Eucalyptus pellita*.** 1993. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

PIENAAR, L. V. **Quantitative theory of forest growth.** 1965. 191 f. Thesis (Ph. D.) – University of Washington, Seattle, Washington, 1965.

PIENAAR, 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.

PIENAAR, L. V.; HARRISON, W. M. A stand table projection approach to yield prediction in unthinned even-aged stands. **Forest Science**, v. 34, n. 3, p. 804-808, 1987.

PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. Survival functions for site prepared slash pine plantations in the flat woods of Georgia Northern Florida. **Southern Journal Forestry**, v. 5, n. 2, p. 59-62, 1981.

PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. An analysis and models of basal area growth in 45-year-old unthinned and thinned slash pine plantation plots. **Forest Science**, v. 30, n. 4, p. 933-942, 1984.

PIENAAR, L. V.; TURNBULL, K. J. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. **Forest Science**, v. 19, p. 2-22, 1973.

ROLLINSON, T. J. D. **Thinning control**. 3. ed. London: Her Majesty's Stationery Office, 1988. 56 p.

RUSTAGI, K. P. **Predicting stand structure in even-aged stands**. In: GROWTH MODELS FOR LONG TERM FORECASTING OF TIMBER YIELDS, 1977, Blacksburg. **Proceeding...** [S.L]: IUFRO, [1977]. p.1-16.

SCOLFORO, J. R. S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 1990. 308 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Ciência Florestal**, n. 50, p. 51-64, 1996.

SILVA, A. A. L. **Emprego de modelos de crescimento e produção em análise econômica de decisões de manejo florestal**. 2001. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SMITH, D. M. **The practice of silviculture**. 6. ed. New York: J. Wiley & Sons, 1962. 578 p.

SOARES, P.; TOMÉ, M.; SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Evaluation a growth model for forest management using continuous forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, v. 71, p. 251-265, 1995.

STRUB, M. R.; FEDUCCIA, D. P.; BALDWIN JUNIOR, V. C. A diameter distribution method useful in compatible growth and yield modeling of thinned stands. In: BIENNIAL SOUTH. SILVICUTURE RESEARCH CONFERENCE, 1, 1980, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: USDA, 1981. p.115-126 (General Technical Report, SO-34).

SULLIVAN, A. D.; CLUTTER, J. L. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine. **Forest Science**, v.18, n. 1, p. 76-86, 1972.

TREVIZOL JUNIOR, T. L. **Análise de um modelo compatível de crescimento e produção em plantações de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. 1985. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

VALE, A. B.; OLIVEIRA, A. D.; FELFILI, J. M.; QUINTAES, P. C. G. Desbastes florestais. **Brasil Florestal**, v. 13, n. 59, p. 45-57, 1984.

VEIGA, A. A. **Curso de atualização florestal**. [S. L.]: Instituto Florestal – Secretaria da Agricultura, 1972. 346 p.

WINGO, D. R. Methods for fitting the right-truncated Weibull distribution to life-test and survival data. **Biometrical Journal**, v. 30, p. 545-551, 1988.

WYKOFF, W. R.; CROOKSTON, N. L.; STAGE, A. R. **User's guide to the stand prognosis model**. [S.L.]: USDA, 1982. 112 p. (General Technical Report, INT-133).