

**ADHAM FERREIRA BEZERRA**

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

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B574m  
2009

Bezerra, Adham Ferreira, 1983-  
Modelagem do crescimento e da produção de povoamen-  
tos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste / Adham  
Ferreira, Bezerra. – Viçosa, MG, 2009.  
xi, 60f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Helio Garcia Leite.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Teca (Árvore). 2. Desbaste florestal. 3. Teca (Árvore) -  
Populações. 4. Teca (Árvore) - Crescimento. 5. Florestas -  
Administração. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

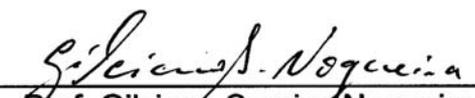
CDO adapt. CDD 634.922

**ADHAM FERREIRA BEZERRA**

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

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

APROVADA: 18 de fevereiro de 2009.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Gilciano Saraiva Nogueira  
(Coorientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Nerilson Terra Santos  
(Coorientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Carlos Pedro Boechat Soares

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Geraldo Gonçalves dos Reis

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Hélio Garcia Leite  
(Orientador)

“Jamais importará a cama em que iremos dormir e muito menos o lugar. O importante é que conseguiremos deitar, dormir e sonhar com um mundo melhor para o futuro. Mas o melhor dos sonhos é termos a chance e oportunidade de realizá-los.”

(Chiquinho da Floresta)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me dado forças e condições para chegar até aqui.

Aos meus pais José Zimar Filho e Valdirene Ferreira Bezerra, à minha irmã Thaíse Ferreira Bezerra e toda a minha família, pela ajuda e compreensão em vários momentos ao longo desta caminhada.

Ao Professor Hélio Garcia Leite, pela orientação, amizade e pelas experiências passadas durante toda a graduação e a pós-graduação. Ele, com certeza, será um grande exemplo a ser seguido ao longo da minha carreira profissional.

Aos professores componentes da banca Gilciano, Carlos Pedro, Nerilson e Geraldo Reis, por prontamente terem aceitado o convite para participar deste trabalho.

Aos Professores Ismael Eleotério Pires e Eduardo Euclides de Lima Borges, pela oportunidade concedida para trabalhar na Sociedade de Investigações Florestais concomitantemente com as minhas atividades do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.

Ao Engenheiro Florestal Leonardo Fardin e à Floresteca Agroflorestal Ltda., pela disponibilização dos dados e pelo auxílio na elaboração deste trabalho.

À Flaviana, pelo companheirismo.

Aos meus colegas de trabalho na Sociedade de Investigações Florestais, por terem, em várias situações, me auxiliado nas atividades

profissionais para que minhas responsabilidades acadêmicas não fossem prejudicadas.

Aos meus colegas da graduação e pós-graduação, pela amizade e convivência.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização deste treinamento.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, pela amizade cultivada ao longo desses anos.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, me ajudaram na conclusão de mais este desafio.

## **BIOGRAFIA**

ADHAM FERREIRA BEZERRA, filho de José Zimar Filho e Valdirene Ferreira Bezerra, nasceu em 27 de setembro de 1983, no Município de Linhares, Espírito Santo.

Em 2001, concluiu o ensino médio no Colégio Nacional, em São Mateus, ES.

Em maio de 2002, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em março de 2007.

Ainda em março de 2007, foi contratado pela Sociedade de Investigações Florestais (SIF), como assistente-técnico florestal da Diretoria Científica.

Por fim, em agosto de 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Ciência Florestal da UFV, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2009.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REFERÊNCIAS .....	7
CAPÍTULO I .....	10
MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE <i>Tectona grandis</i> SUBMETIDOS A DESBASTE	10
RESUMO .....	10
MODELING OF STANDS OF <i>Tectona grandis</i> SUBMITTED TO SELECTIVE THINNING .....	11
ABSTRACT .....	11
1. INTRODUÇÃO .....	12
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
2.1. Local e dados utilizados .....	14
2.2. Classificação da capacidade produtiva .....	15
2.3. Modelagem do crescimento e da produção .....	17
2.4. Simulação de desbastes e predição de volume .....	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
3.1. Classificação da capacidade produtiva .....	19

	Página
3.2. Modelo de Clutter na sua forma usual .....	21
3.3. Modelo de Clutter modificado .....	23
3.4. Simulação de desbaste e projeção de volume.....	26
4. CONCLUSÕES.....	35
5. REFERÊNCIAS .....	36
CAPÍTULO II.....	38
EFICIÊNCIA DA AMOSTRAGEM SELETIVA PARA MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE <i>Tectona grandis</i> SUBMETIDOS A DESBASTE .....	38
RESUMO .....	38
EFFICIENCY OF THE SELECTIVE SAMPLING FOR GROWTH AND PRODUCTION MODELING .....	39
ABSTRACT.....	39
1. INTRODUÇÃO.....	40
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
4. CONCLUSÕES.....	54
5. REFERÊNCIAS .....	55
ANEXO .....	56

## RESUMO

BEZERRA, Adham Ferreira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste.** Orientador: Helio Garcia Leite. Coorientadores: Gilciano Saraiva Nogueira e Nerilson Terra Santos.

Este estudo teve como objetivos ajustar um modelo de crescimento e produção, simular alternativas de manejo para povoamentos de teca submetidos a desbaste e avaliar a eficiência da amostragem seletiva para obter dados visando à modelagem de crescimento e produção. O modelo de Clutter foi ajustado em sua forma usual e, também, na forma modificada pela inclusão de um termo de desbaste. Os dois modelos foram eficientes para projetar crescimento e produção. Foi observado que povoamentos em locais de baixa capacidade produtiva não responderam aos desbastes, não sendo indicado o manejo para multiprodutos. No entanto, povoamentos em locais de maior capacidade produtiva responderam significativamente aos desbastes, sendo sugeridos desbastes iniciais mais intensos. Independentemente do regime de desbastes, a produção líquida é semelhante, variando apenas a dimensão da madeira colhida ao longo das intervenções. Ao fixar as idades do desbaste em 5, 10 e 15 anos, com corte final aos 20 anos, as prescrições de manejo simuladas neste estudo

resultaram em produções líquidas similares. Porém, ao adotar o critério de máximo incremento médio anual como referência para determinação da idade do desbaste e considerando a variável volume como indicadora, houve diferenças nas produções líquidas. No pior local, não foi observada nenhuma resposta à aplicação do terceiro desbaste, enquanto nos demais locais as melhores prescrições envolveram até cinco desbastes antes do corte final. A eficiência da amostragem seletiva para fins de modelagem de crescimento e produção foi comprovada neste estudo.

## ABSTRACT

BEZERRA, Adham Ferreira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2009. **Modeling growth and production of stands of *Tectona grandis***. Adviser: Hélio Garcia Leite. Co-Advisers: Gilciano Saraiva Nogueira and Nerilson Terra Santos.

The objective of this study was to construct a model of growth and production, simulate alternative management stands of teak submitted to selective thinning and evaluate the effectiveness of the selective sampling to obtain data for the modeling of growth and production. The Clutter model was adjusted in its ordinary form, and, also, in the modified form, by the inclusion of a thinning term. Both models were efficient for growth and production, with satisfactory efficiency. It was observed that sites of low productive capacity, which do not respond to thinning, are not indicated for multi-management. However, stands in places with greater productive capacity responded significantly well to thinning. More intense initial thinning was suggested. Regardless of the kind of thinning, the net production is similar, with variations only for the size of the timber harvested along the interventions. By determining the age of thinning in 5 10 and 15 years, with final cut at the age of 20, the handling prescriptions simulated in this study provided similar net productions. But when the criterion of maximum mean annual increment was adopted as a reference for determining the age of

thinning, and the volume was considered as an indicator variable, there were differences in net production. In the worst site, it was not observed any response to the application of the third thinning, while in other places, the best prescriptions involved five thinnings before the final cut. The efficiency of the selective sampling for modeling growth and production was evidenced in this study.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Tectona*, pertencente à família Verbenaceae, apresenta duas espécies: *Tectona grandis* e *Tectona hamiltoniana* (BOR, 1953 citado por CARDOSO, 1991). A de maior importância, *Tectona grandis* L. F., cujas sinônimas botânicas são *Tectona theka* Lour. e *Theka grandis* (L. F.) Lam., é uma espécie originária do continente Asiático, estando sua área de ocorrência entre florestas Úmida e Decídua Árida Mista, em elevações em torno de 1.000 m na Índia, Birmânia, Tailândia e Laos (WHITE, 1991).

As árvores podem alcançar mais de 40 m de altura e têm fuste reto, envolto por uma casca grossa, fibrosa e gretada. Essa casca tem coloração marrom nas árvores jovens, tornando-se acinzentada com o avanço da idade. Em climas sazonais, como no Mato Grosso, a espécie apresenta hábito caducifólio; suas grandes folhas caem durante a estação seca do ano, havendo nova emissão de folhas após as primeiras chuvas. As folhas, de coloração marrom-avermelhada, ao surgirem tornam-se verde-escuras em pouco tempo. Depois do aparecimento das folhas, a árvore passa por um período de intenso crescimento, que diminui ao longo da estação chuvosa até estagnar no próximo período seco. É esse ritmo de crescimento sazonal distinto que confere à madeira da teca suas melhores propriedades (LAMPRECH, 1990; LORENZI et al., 2003).

No Brasil, a floração da teca pode ser observada entre os meses de dezembro e março. Suas flores, brancas e diminutas, dispõem-se em cachos

de 700 a 3.500 unidades. Desse total, apenas 1 ou 2% se desenvolve em frutos. O fruto é constituído por uma membrana fina, semelhante ao papel, que reveste uma estrutura esférica de 5 a 20 mm de diâmetro, cujo núcleo apresenta caroço duro, que pode alojar até quatro sementes. O próprio fruto é usado como material de propagação, uma vez que é difícil remover as sementes do interior do caroço. Assim, um fruto semeado pode originar até quatro plântulas.

Apesar de ocorrer naturalmente em regiões com grande diversidade climática, a teca apresenta melhor crescimento em áreas com precipitações médias anuais entre 1.200 e 2.500 mm e que tenham estação seca bem definida de três a cinco meses de duração. Os planos de manejo para teca no Estado do Mato Grosso estimam uma produtividade média, aos 20 anos, de cerca de  $15 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , em termos de produção líquida com aplicação de desbaste aos 5, 10 e 15 anos, aproximadamente. As melhores temperaturas para seu desenvolvimento, 23 a 27 °C, são as encontradas nos trópicos, enquanto a altitude máxima adequada é de 700 m, sendo uma espécie sensível a geadas. Solos adequados são os profundos e bem drenados, férteis, com alto teor de cálcio e pH entre 6,5 e 7,5. Por ser espécie pioneira, requer alta intensidade luminosa para seu desenvolvimento (FLORESTECA, 2008).

Alguns fatores têm contribuído para a expansão da área de plantio de teca no Brasil, entre eles:

- O envolvimento do setor privado, incluindo fazendeiros, no cultivo de teca.
- O reflorestamento em locais fora de sua zona de distribuição natural e, mais particularmente, em áreas com condições ecológicas e ambientais muito diferentes, dentro de certos limites.
- O crescimento do comércio internacional de produtos florestais e o surgimento de novos centros de consumo.
- As limitações no fornecimento de madeira de florestas naturais.
- O aumento da atenção para as funções ecológicas e ambientais das florestas e seu manejo sustentável (NAIR; SOUVANNAVONG, 2000).

A madeira de teca é considerada de alta qualidade, sendo destaque no mercado mundial, principalmente por causa das propriedades físico-mecânicas e das inúmeras possibilidades de uso (MATRICARDI, 1989; LAMPRECH, 1990; OLIVEIRA, 2003). O principal produto dessa espécie é a madeira, muito utilizada na carpintaria, na marcenaria, na produção de peças de usos nobres e de móveis finos e, especialmente, na indústria da construção naval, em que é praticamente insubstituível pelo fato de resistir ao sol, ao calor, ao frio e à água de chuvas e do mar (RONDON NETO et al., 1998).

Existem povoamentos de teca em escala comercial na Ásia, na Oceania, na África e nas Américas do Sul e Central. No Brasil, os plantios de teca iniciaram-se no final da década de 1960, no Município de Cáceres, Estado do Mato Grosso (TSUKAMOTO FILHO et al., 2003). Estima-se que a área plantada no Brasil seja em torno de 50 mil ha, em 2008, com destaque para o Estado do Mato Grosso, maior produtor (FLORESTECA, 2008).

Segundo Behaghel (1999), as áreas de plantações de teca duplicaram desde 1950 e têm se expandido em mais de 50 países. Estima-se que a produção total de madeira de teca em 2009 seja de cerca de quatro milhões de m<sup>3</sup> anuais, com expectativa de mais de 20 milhões de m<sup>3</sup> antes do ano 2020. O referido autor ainda ressaltou que o principal critério de qualidade seria o diâmetro, seguido pela densidade e cor da madeira. Portanto, o manejo deve conduzir a árvores de grande porte, com maior proporção de cerne, na menor rotação possível. Estima-se uma rotação em torno de 20 a 25 anos no Estado do Mato Grosso, com a aplicação de três ou quatro desbastes antes da reforma dos povoamentos.

Entre os trabalhos com dados de teca em mensuração florestal, podem ser citados: Nanang e Nunifu (1999), em Ghana; Keogh (1982), no Caribe, América Central, Venezuela e Colômbia; Friday (1987), em Porto Rico; e Malende e Temu (1990), na Tanzânia. Especificamente sobre a classificação da capacidade produtiva e padrões de crescimento, podem-se mencionar os trabalhos de Keogh (1990), no Caribe e na América Central; de Haishui (1993), nas Ilhas Hainan; Macedo et al. (1999), em Minas Gerais (Brasil); e Cruz et al. (2008), no Mato Grosso (Brasil). E sobre modelos de crescimento e produção podem ser citados os estudos de Gonzales (1985),

nas Filipinas; Nunifu e Murchison (1999), em Ghana; Bermejo et al. (2004), na Costa Rica; e Nogueira et al. (2003), estudando povoamentos de teca submetidos a desbaste no Brasil.

Ainda são raros no Brasil estudos sobre crescimento e produção de teca utilizando bases de dados com dois ou mais desbastes. Entre os estudos mais recentes, cabe mencionar os trabalhos de Nogueira et al. (2005), Nogueira et al. (2006) e Cruz et al. (2008). Os dois primeiros utilizaram dados de povoamentos de teca submetidos a um desbaste, enquanto Cruz et al. (2008) utilizaram dados de parcelas permanentes medidos antes do primeiro desbaste. Nos dois casos foram utilizados dados de parcelas permanentes de inventário florestal contínuo, em que a amostragem foi aleatória. Isso pode resultar em grande frequência de parcelas em torno da média e pouca nos extremos. Essa amostragem aleatória se aplica quando o objetivo é estimar média e limites de confiança. Para fins de modelagem, um procedimento seletivo de lançamento de parcela é mais apropriado. Com essa seleção, uma mesma frequência de parcelas permanentes pode ser mensurada em locais de capacidade produtiva intermediária e extrema. Assim, além de gerar uma base de dados mais adequada para modelagem, a amostragem seletiva pode resultar em menor quantidade de dados para modelagem.

O termo *mensuração florestal* é utilizado com referência a um conjunto de procedimentos e técnicas relacionados com dois dos três elementos essenciais do manejo florestal, ou seja, a classificação de terras e a predição ou projeção do crescimento e da produção florestal. Essa predição ou projeção é feita utilizando-se modelos de crescimento e produção. Esses modelos servem para atualizar dados de inventário florestal, construir tabelas de produção, prescrever tratamentos silviculturais e estimar estoques de crescimento e de colheita.

Os modelos de crescimento e produção podem ser classificados, quanto à sua flexibilidade, em modelos empíricos, semiempíricos e biológicos, sendo estes últimos os que descrevem melhor as tendências de crescimento (PIENAAR, 1966). Todos eles são modelos em nível de povoamento e podem incluir efeitos da idade e, em alguns casos, das

variáveis índice de local e área basal. As relações funcionais mais difundidas foram propostas por Schumacher (1939), Buckman (1962) e Clutter (1963).

A escolha do modelo depende do tipo de informação pretendida, do nível de detalhamento necessário, das características do povoamento e do tipo de dados disponíveis (CAMPOS; LEITE, 2006). Em alguns casos, é necessário obter estimativas em nível de árvores ou classe de diâmetro, havendo a necessidade do uso de modelos em nível de árvores, de distribuição de diâmetros, ou modelos integrados.

Quando o objetivo é a produção de árvores de grande porte, ou obter madeira com propriedades tecnológicas adequadas ao processamento mecânico, é necessário conduzir o povoamento de maneira que as árvores tenham as características desejadas. Para isso é necessário definir um ritmo de crescimento adequado por meio de aplicação de desbastes. Esse tratamento silvicultural é aplicado com a finalidade de antecipar a mortalidade e disponibilizar recursos de crescimento em indivíduos remanescentes.

Para viabilizar a determinação de regimes ótimos de desbastes, é necessário utilizar modelos que incluem efeitos da densidade do povoamento e da capacidade produtiva, sejam eles em nível de povoamento, por classe de diâmetro ou em nível de árvore individual. A densidade é usualmente expressa pela área basal e a capacidade produtiva, pelo índice de local. Este é obtido a partir de curvas de índice de local, as quais podem ser anamórficas ou polimórficas, conforme mencionado em Campos e Leite (2006).

No Brasil, seja para teca, para eucalipto ou para pinus, as bases de dados utilizadas em estudos de crescimento e produção têm sido obtidas de parcelas permanentes de inventário florestal contínuo. Esses inventários têm sido conduzidos por meio de amostragem aleatória, com intensidade média de uma parcela para cada cerca de 10 ha. Esse tipo de amostragem resulta em representatividade da condição média dos povoamentos e, muitas vezes, não representa os extremos (baixa e alta capacidade produtiva) com frequência suficiente para modelagem. No entanto, dependendo do tipo de modelagem, baixas frequências nas condições extremas podem resultar em *bias* por ocasião do uso dos modelos.

Em casos em que a amostragem é aleatória com preestratificação, há certa garantia de representatividade das condições extremas. Porém, mesmo nesse caso, sempre que possível uma pós-estratificação deve ser usada para obter melhor base de dados para modelagem. Cabe ressaltar que, conforme Curtis e Marshall (2005), para fins de inventário florestal, em que o objetivo é estabelecer limites de confiança para a média, o uso da pós-estratificação exige que cada parcela represente uma mesma proporção de área.

Tendo em vista a grande importância econômica da espécie e a necessidade de maiores estudos em povoamentos de teca submetidos a desbaste, o primeiro capítulo deste estudo foi conduzido com os objetivos de estabelecer curvas de índices de local e construir um modelo de crescimento e produção para uso em manejo de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste, no Estado do Mato Grosso. No capítulo 2 foi avaliada a eficiência da amostragem seletiva para geração de dados, visando ao ajuste de modelos de crescimento e produção.

## 2. REFERÊNCIAS

BEHAGHEL, I. The state of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in the world. **Bois et forêts des tropiques**, v. 4, n. 262, 1999.

BERMEJO, I.; CAÑELLAS, I.; MIGUEL, A.S. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. **For. Ecol. Manage**, n. 189, p. 97-110, 2004.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 470 p.

CARDOSO, N.S. **Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de teca (*Tectona grandis* L. f.) – Verbenaceae**. 1991. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, SP, 1991.

CRUZ, J.P.; LEITE, H.G.; SOARES, C.P.B.; CAMPOS, J.C.C.; SMIT, L.; NOGUEIRA, G.S. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, v. 31, p. 669-676, 2008.

CURTIS, R.O.; MARSHALL, D.D; **Permanent-plot procedures for silvicultural and yield research**. United States Department of Agriculture, USDA, 2005. 86 p.

FLORESTECA. **Resumo do plano de manejo de povoamento de teca**. Disponível em: <<http://www.floresteca.com.br>>. Acesso em: 10 dez. 2008.

FRIDAY, K.S. Site index curves for teak (*Tectona grandis* L.f) in the limestone hill region of Puerto Rico. **Commonwealth Forestry Review**, v. 3, n. 66, p. 239-253, 1987.

HAISHUI, Z. Growth pattern on teak plantations on Hainan island. In: WOOD, H. (Ed.). **Teak in Asia**. Bangkok. Thailand: FORSPA Publication 4, GCP/RAS/I34/ASB, 1993. p. 119-126.

KEOGH, K.M. Provisional site classification chart for the Caribbean, Central America, Venezuela and Colombia. **For. Ecol. Manage**, n. 4, p. 143-153, 1982.

KEOGH, K.M. Growth rates of teak (*Tectona grandis*) in the Caribbean/Central-American region. **For. Ecol. Manage**, n. 35, p. 311-314, 1990. (Short Communication).

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

LORENZI, H. et al. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003. 384 p.

MACEDO, R.L.G.; GOMES, J.E.; TSUKAMOTO FILHO, A.A. Análise preliminar do crescimento e fenologia da *Tectona grandis* L.f. (teca), implantada em parcela de observação na região de Lavras-MG. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 5., 1999, Curitiba. **Anais...** Rio de Janeiro, Biosfera, 1999a. 4 p. (CD-ROM-BIO 1200).

MALENDE, Y.H.; TEMU, A.B. Site-index curves and volume growth of teak (*Tectona grandis*) at Mtibwa, Tanzania. **For. Ecol. Manage**, n. 31, p. 91-99, 1990.

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, SP, 1989.

NAIR, C.T.S.; SOUVANNAVONG, O. Emerging research issues in the management of teak. **Unasyuva**, v. 51, n. 201, p. 45-54, 2000.

NANANG, D.M.; NUNIFU, T.K. Selecting a functional form for anamorphic site index curve estimation. **For. Ecol. Manage**, n. 118, p. 211-221, 1999.

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

NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; TAKIZAWA, F.H.; COUTO, L. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, p. 377-388, 2006.

NUNIFU, T.K.; MURCHISON, H.G. Provisional yield models of Teak (*Tectona grandis* Linn F.) plantations in northern Ghana. **For. Ecol. Manage**, n. 120, p. 171-178, 1999.

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, MG, 2003.

RONDON NETO, R.M.; MACEDO, R.L.G.; TSUKAMOTO FILHO, A.A. Formação de povoamentos florestais com *Tectona grandis* L. f. (Teca). **Boletim Técnico** – Série Extensão, v. 7, n. 33, p. 1-29, 1998.

TSUKAMOTO FILHO, A.A.; SILVA, M.L.; COUTO, L.; MULLER, M.D. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 487-494, 2003.

WHITE, K.J. Teak. Some aspects of research and development. **Rapa Publications**. FAO, 1991/17.

## **CAPÍTULO I**

### **MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* SUBMETIDOS A DESBASTE**

#### **RESUMO**

Este estudo foi conduzido com o propósito de construir curvas de índice de local e um modelo de crescimento e produção para povoamentos de teca submetidos a desbaste seletivo, no Estado do Mato Grosso. Para determinação da capacidade produtiva, foram avaliados um modelo que descreve um comportamento sigmoidal e outro de comportamento exponencial. Foi observado que a tendência de crescimento em altura dominante nesses povoamentos até próximo de 10 anos é exponencial. Para modelagem do crescimento e produção, foi ajustado o modelo de Clutter em sua forma usual e modificado pela inclusão de um termo de desbaste. Ambos os modelos resultaram em estimativas precisas e não tendenciosas. De acordo com as prescrições de manejo simuladas, locais com maior capacidade produtiva sugerem desbastes iniciais mais pesados quando comparados com locais de menor capacidade produtiva. Locais com baixa capacidade produtiva respondem muito pouco ao desbaste, não se recomendando sua aplicação.

Palavras-chave: Teca, modelagem e desbaste.

## **MODELING OF STANDS OF *Tectona grandis* SUBMITTED TO SELECTIVE THINNING**

### **ABSTRACT**

The objective of the present study was the construction of curves of local index and a model of growth and production of Teca submitted to selective thinning. This research was carried out in the state of Mato Grosso, Brazil. To determine the productive capacity, evaluations were performed for a model that describes a sigmoidal behavior and another model with exponential behavior. It was observed that the tendency for the increase in the dominant height in these stands, until up to about ten years, is exponential. For the modeling of growth and production, the Clutter model was adjusted in its ordinary form and modified by the inclusion of a term of thinning. Both models provided correct and unbiased estimates. According to the prescriptions of simulated handling, locations with higher productive capacity suggest heavier initial thinnings, in comparison to locations with lower productive capacity. Places with low productive capacity presented very little response to thinning, whose application is not recommended.

Keywords: Teak, modeling and thinning.

## 1. INTRODUÇÃO

A aplicação adequada de regimes de desbaste possibilita a obtenção de árvores de maior porte, por ocasião do corte raso, em comparação com povoamentos não desbastados. Porém, a aplicação do desbaste em povoamentos florestais muitas vezes é realizada de maneira subjetiva, com base na “experiência” do manejador.

Apesar do expressivo avanço nos estudos de modelagem do crescimento e da produção, as estimativas de produção dos povoamentos de teca (*Tectona grandis*) geralmente ainda têm sido obtidas de forma empírica. Portanto, é justificada a investigação científica envolvendo o desenvolvimento de modelos de crescimento e produção para povoamentos dessa espécie (NOGUEIRA et al., 2006).

A partir da década de 1980, muitos estudos sobre modelagem de plantações desbastadas têm sido divulgados nos principais periódicos internacionais. Os trabalhos de Clutter e Jones (1980), Sadiq (1981), Bailey e Ware (1983), Pienaar e Shiver (1984) e Pienaar e Shiver (1986), juntamente com os estudos de Buckman (1962), Clutter (1963), Pienaar (1965), Pienaar e Turnbull (1973), Pienaar (1979) e Campos e Leite (2006), são referências fundamentais em modelagem de crescimento de povoamentos submetidos a desbaste. Todavia, para modelagem de povoamentos de teca são poucos os estudos existentes, tanto no Brasil quanto no exterior.

Nogueira et al. (2006) propuseram um modelo de distribuição diamétrica para estimar crescimento e produção de povoamentos de teca submetidos a desbaste, porém nesse trabalho foi utilizado número limitado de informações, e os povoamentos haviam sido submetidos apenas ao primeiro desbaste. Vários outros trabalhos sobre modelagem encontrados na literatura apresentam esse mesmo problema, em que os dados utilizados para ajuste dos modelos de crescimento não são adequados ou suficientes.

Em geral, têm-se utilizado dados provenientes de inventário florestal contínuo, em que grande número de parcelas é lançado, sendo estas mensuradas anualmente. Porém, com o aumento da área plantada, os custos com inventário, que já são relativamente altos, tornam-se ainda maiores. Uma alternativa para eliminar a necessidade do inventário florestal contínuo e, por consequência, minimizar custos é a implementação e uso de dados de parcela de prognose. Essas parcelas são lançadas no povoamento de maneira seletiva. Com base no exposto, este estudo foi conduzido com os seguintes objetivos:

- Estabelecer curvas de índices de local para uso em manejo de povoamentos de *Tectona grandis* no Estado do Mato Grosso.
- Ajustar um modelo de crescimento e produção para plantações de *Tectona grandis*, no Estado do Mato Grosso.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Local e dados utilizados

Os dados utilizados neste estudo foram oriundos de inventários conduzidos em povoamentos de *Tectona grandis*, localizados no Município de Jangada, região centro-sul do Estado do Mato Grosso, entre as coordenadas geográficas 15°02' e 15°11' de latitude sul e 56°29' e 56°35' de longitude oeste. A precipitação anual média é de 1.300 a 1.600 mm, com seis meses de período seco bem definidos. A temperatura média anual é de 25,3 °C. As características do relevo do município são predominantemente marcadas pela topografia plana. Os solos são representados pela classe dos Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo em sua maioria, ocorrendo também Latossolos Escuros, terra roxa estruturada e arenosos.

Foram utilizados dados de 94 parcelas permanentes de inventário florestal contínuo, de 490,8 m<sup>2</sup> de área, instaladas em 1994, em povoamentos de *Tectona grandis*, implantadas sob área útil inicial de 6 m<sup>2</sup>, com arranjo espacial de 3 x 2 m, com orientação do plantio no sentido leste-oeste. A distribuição espacial das parcelas é apresentada na Figura 1.

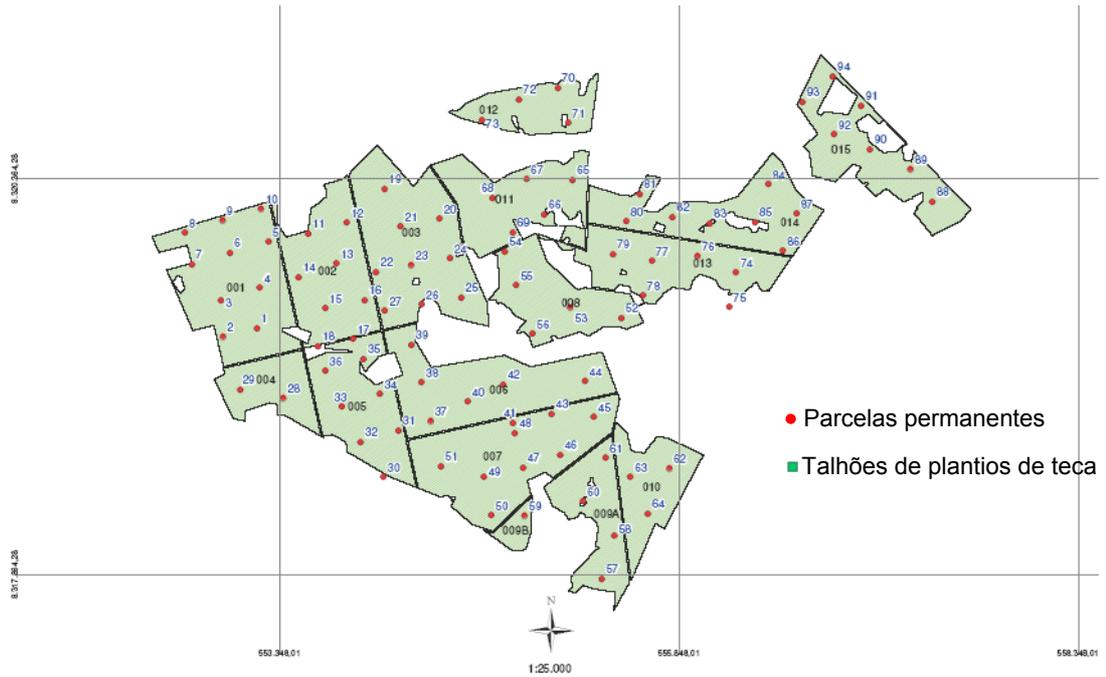


Figura 1 – Distribuição espacial das parcelas permanentes instaladas na área inventariada.

As parcelas foram medidas em média aos 34, 43, 55, 67, 79, 94, 108, 120, 132 e 150 meses de idade. Os desbastes seletivos foram realizados, em média, aos 54 e 108 meses de idade com remoção de 40 e 30% da área basal, respectivamente, eliminando-se os indivíduos inferiores. As amplitudes de área basal e volume comercial são apresentadas na Figura 2.

## 2.2. Classificação da capacidade produtiva

Para determinação da capacidade produtiva do local foi utilizado o método da curva-guia, com uma idade-índice de 60 meses, sendo testados os seguintes modelos:

$$Hd = \alpha (1 + \beta e^{-\gamma I})^{-1} + \varepsilon \quad (1)$$

$$Hd = e^{\alpha + \beta I^{-1}} + \varepsilon \quad (2)$$

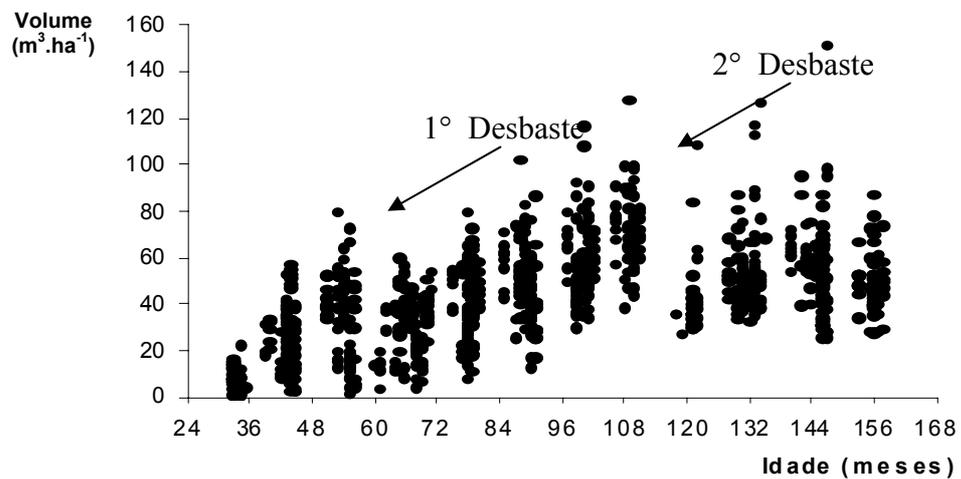
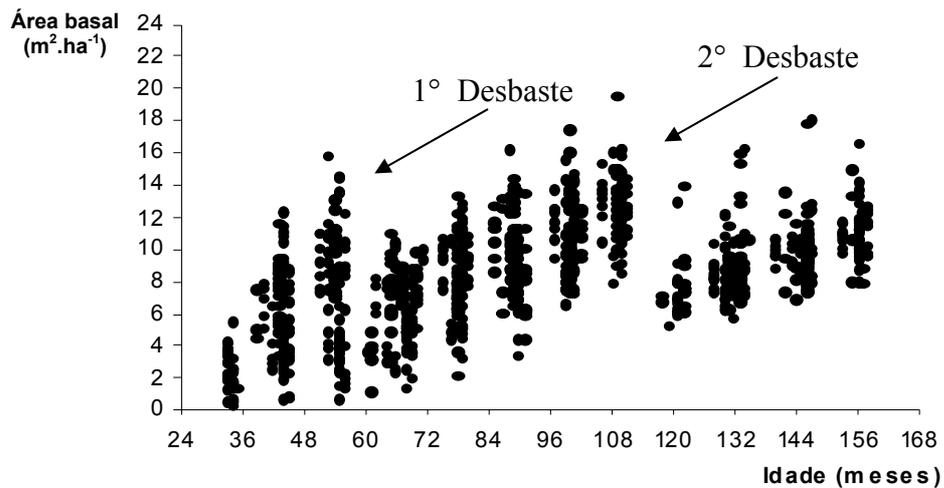


Figura 2 – Dispersões ( $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$  e  $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ ) observadas nos dados utilizados para modelagem.

em que:

$Hd$  = altura dominante, em m;

$I$  = idade, em meses;

$\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  = parâmetros; e

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

A escolha entre os modelos 1 e 2 foi feita com base na consistência observada entre altura dominante e índice de local por idade e verificação

do fenômeno biológico sob análise. Foi estimado, também, o coeficiente de correlação  $r_{\hat{y}y}$ ,  $y = Hd$ .

As curvas de índice de local foram geradas com amplitude de 2 m na idade-índice de 60 meses, resultando em três classes de local. Foi elaborada, também, uma tabela de limites de altura dominante por classe de local.

### 2.3. Modelagem do crescimento e da produção

Para fins de modelagem do crescimento e da produção, empregaram-se o modelo de Clutter (1963), na sua forma mais usual (3), e esse mesmo modelo modificado pela inclusão do termo de desbaste  $\alpha \left( \frac{B_d I_d}{B_r I_2} - \frac{B_d I_d}{B_r I_1} \right)$ , conforme sugerido por Dias et al. (2005) (4). Os sistemas de equações testados foram:

$$\begin{cases} \ln B_2 = \ln B_1 (I_1 I_2^{-1}) + \alpha_0 (1 - I_1 I_2^{-1}) + \alpha_1 (1 - I_1 I_2^{-1}) S_1 + \varepsilon \\ \ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln B_2 + \varepsilon \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \ln B_2 = \ln B_1 (I_1 I_2^{-1}) + \alpha_0 (1 - I_1 I_2^{-1}) + \alpha_1 (1 - I_1 I_2^{-1}) S_1 + \alpha_2 \left( \frac{B_d I_d}{B_r I_2} - \frac{B_d I_d}{B_r I_1} \right) + \varepsilon \\ \ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln B_2 + \varepsilon \end{cases} \quad (4)$$

em que:

$V_2$  = volume na idade de projeção  $I_2$ , em  $m^3 \cdot ha^{-1}$ ;

$I_1$  = idade atual, em meses;

$I_2$  = idade de projeção; em meses;

$S_1$  = índice de local na idade atual, em m;

$B_1$  = área basal na idade atual  $I_1$ , em  $m^2 \cdot ha^{-1}$ ;

$B_2$  = área basal na idade de projeção  $I_2$ , em  $m^2 \cdot ha^{-1}$ ;

$I_d$  = idade do povoamento na época de realização do último desbaste, em meses;

$B_d$  = área basal removida no último desbaste, em  $m^2 \cdot ha^{-1}$ ;

$B_r$  = área basal remanescente após a realização do último desbaste, em  $m^2 \cdot ha^{-1}$ ;

$\alpha_i$  e  $\beta_i$  = parâmetros;

$Ln$  = logaritmo neperiano; e

$\epsilon$  = erro aleatório,  $\epsilon \sim NID(0, \delta^2)$ .

Os ajustes desses sistemas de equações (modelos 3 e 4) foram feitos pelo método de mínimos quadrados em dois estágios, empregando-se o software *Eviews 3.0*. A avaliação estatística dos modelos foi feita com base em análise de resíduos. Por ser uma estatística “pobre” para fins de avaliação de modelos, conforme apontado por Campos e Leite (2006), o coeficiente de correlação entre valor observado e valor estimado foi utilizado apenas em caráter ilustrativo do grau de ajustamento dos modelos. Além das análises de resíduos das variáveis área basal e volume, foi avaliada a capacidade dos sistemas em descrever o fenômeno biológico implícito em um povoamento submetido a desbaste.

#### **2.4. Simulação de desbastes e predição de volume**

Foram simulados desbastes considerando um horizonte de planejamento de 20 anos, sendo esta a idade de rotação esperada. Inicialmente, foram fixadas as idades de desbaste de 5, 10 e 15 anos, variando as intensidades ou pesos de desbaste. Essas idades foram estabelecidas por serem usuais em planejamento estratégico, tático e operacional em florestas de teca no Brasil. As prescrições avaliadas foram 50, 35 e 35%; 50, 35 e 25%; 35, 35 e 35%; e 35, 35 e 25% de redução da área basal remanescente, nas idades de 5, 10 e 15 anos.

Em seguida, foram simulados desbastes nas idades de máxima produtividade média (IMA) até o final do horizonte de planejamento onde foi simulado o corte raso. Isso resultou na simulação de dois a cinco desbastes antes do corte final com combinações das intensidades, de 25, 35 e 50% de remoção da área basal remanescente. Todas as simulações foram feitas com os dois modelos ajustados (usual e modificado).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Classificação da capacidade produtiva

As equações obtidas para estimar altura dominante foram:

$$Hd = 19,212621 (1 + 2,892425 e^{(-0,01501571 I)})^{-1}, \quad r_{yy} = 0,724 \quad (\alpha_1)$$

$$Hd = e^{2,86964 - 39,0973 I^{-1}}, \quad r_{yy} = 0,642 \quad (\alpha_2)$$

Apesar da maior correlação ( $r_{yy}$ ) observada no modelo sigmoidal, foi selecionado o modelo exponencial pelo fato de ele descrever melhor as relações *Hd versus* idade (Figura 2), ou seja, com base nos dados observados, a tendência de crescimento em altura, dos indivíduos dominantes, é do tipo exponencial.

De posse da equação selecionada e com base no conceito de índice de local, foram deduzidas as seguintes expressões:

$$Hd = e^{LnS - 39,0973(I^{-1} - 60^{-1})} \quad e \quad S = e^{LnHd + 39,0973(I^{-1} - 60^{-1})}$$

A primeira expressão foi utilizada para elaborar a Tabela 1, com os limites de *Hd* por classe de local, enquanto a segunda, utilizada para estimar os índices de local para uso nos modelos de crescimento e produção. Os dados da Tabela 1 foram utilizados para estratificar o povoamento em classes de capacidade produtiva (I, II e III).

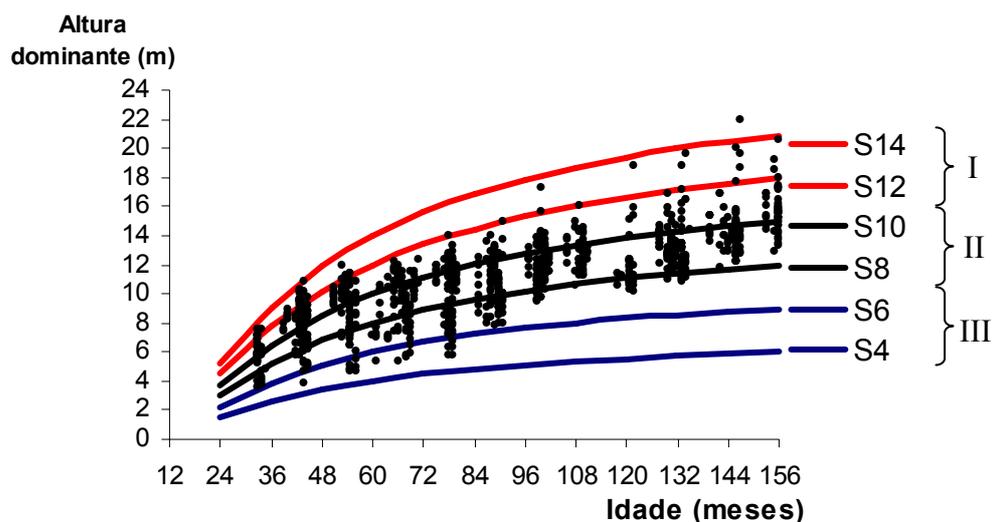


Figura 2 – Curvas de índice de local em povoamentos de teca submetidos a desbaste no Estado do Mato Grosso, geradas a partir da aplicação de um modelo sigmoidal.

Tabela 1 – Limites de altura dominante (m) por idade e índice de local em três classes de capacidade produtiva e Idade-índice de 60 meses, em plantios de teca submetidos a desbaste no Estado do Mato Grosso

Idade (meses)	Classe I		Classe II		Classe III	
	14	12	10	8	6	4
24	5,5 - 5,0	4,9 - 4,2	4,1 - 3,5	3,4 - 2,7	2,6 - 2,0	1,9 - 1,1
36	9,6 - 8,5	8,4 - 7,2	7,1 - 5,9	5,8 - 4,6	4,5 - 3,3	3,2 - 1,9
48	12,6 - 11,1	11,0 - 9,4	9,3 - 7,7	7,6 - 6,0	5,9 - 4,3	4,2 - 2,5
60	14,9 - 13,1	13,0 - 11,1	11,0 - 9,1	9,0 - 7,1	7,0 - 5,1	5,0 - 3,0
72	16,6 - 14,6	14,5 - 12,4	12,3 - 10,1	10,0 - 7,9	7,8 - 5,7	5,6 - 3,3
84	18,0 - 15,8	15,7 - 13,4	13,3 - 10,9	10,8 - 8,5	8,4 - 6,1	6,0 - 3,6
96	19,1 - 16,7	16,6 - 14,1	14,0 - 11,6	11,5 - 9,0	8,9 - 6,5	6,4 - 3,8
108	19,9 - 17,5	17,4 - 14,8	14,7 - 12,1	12,0 - 9,5	9,4 - 6,8	6,7 - 4,0
120	20,7 - 18,1	18,0 - 15,3	15,2 - 12,6	12,5 - 9,8	9,7 - 7,0	6,9 - 4,2
132	21,3 - 18,6	18,5 - 15,8	15,7 - 12,9	12,8 - 10,1	10,0 - 7,2	7,1 - 4,3
144	21,8 - 19,1	19,0 - 16,2	16,1 - 13,3	13,2 - 10,3	10,2 - 7,4	7,3 - 4,4
156	22,3 - 19,5	19,4 - 16,5	16,4 - 13,5	13,4 - 10,6	10,5 - 7,6	7,5 - 4,5

Havendo a necessidade de comparação com índices de local gerados com base em outras idades-índice, a seguinte expressão deve ser utilizada:

$$S' = e^{LnS - 39,0973(I_i'^{-1} - I_i^{-1})}$$

em que:

$I_i$  = idade-índice, em meses;

$I'_i$  = nova idade-índice, em meses;

$S_i$  = índice de local da idade-índice  $I_i$ , em m; e

$S'_i$  = índice de local da nova idade-índice  $I'_i$ , em m.

### 3.2. Modelo de Clutter na sua forma usual

As equações obtidas do ajuste do modelo de Clutter na forma usual foram:

$$\text{Ln}B_2 = \text{Ln}B_1(I_1 I_2^{-1}) + 2,40491(1 - I_1 I_2^{-1}); \quad \bar{r}^2 = 0,731$$

$$\text{Ln}V_2 = 1,217641 - 24,201210(I_2^{-1}) + 0,070890S_1 + 1,006922\text{Ln}B_2; \quad \bar{r}^2 = 0,934$$

Os desvios percentuais não ultrapassaram, na sua maioria, a faixa de  $\pm 20\%$ . O termo  $\alpha_1(1 - I_1 I_2^{-1})S_1$  não foi significativo, portanto esse foi desconsiderado nas aplicações. Embora se trate de uma verificação, pode-se inferir que as estimativas foram precisas, principalmente, porque a faixa mencionada ocorreu em nível de parcela (Figura 3). A validação (avaliação com dados independentes) não foi efetuada devido à baixa frequência de parcelas na classe III. Embora pequena porcentagem de área pertença à classe III, a divisão dos dados para fins de validação resultaria em uma frequência insuficiente para concluir com base em análises de resíduos. Por isso, todas as inferências estatísticas sobre a eficiência das equações foram baseadas em verificação.

O sistema de equações descreveu as tendências de crescimento acumulado pós-desbaste de maneira consistente (Figura 4). Para elaborar essa figura, foram simulados desbastes de 40 e 30% de redução na área basal, aos 54 e 108 meses, respectivamente. Na Figura 4, foram incluídos todos os dados observados, inclusive dados descartados por ocasião do ajuste dos modelos.

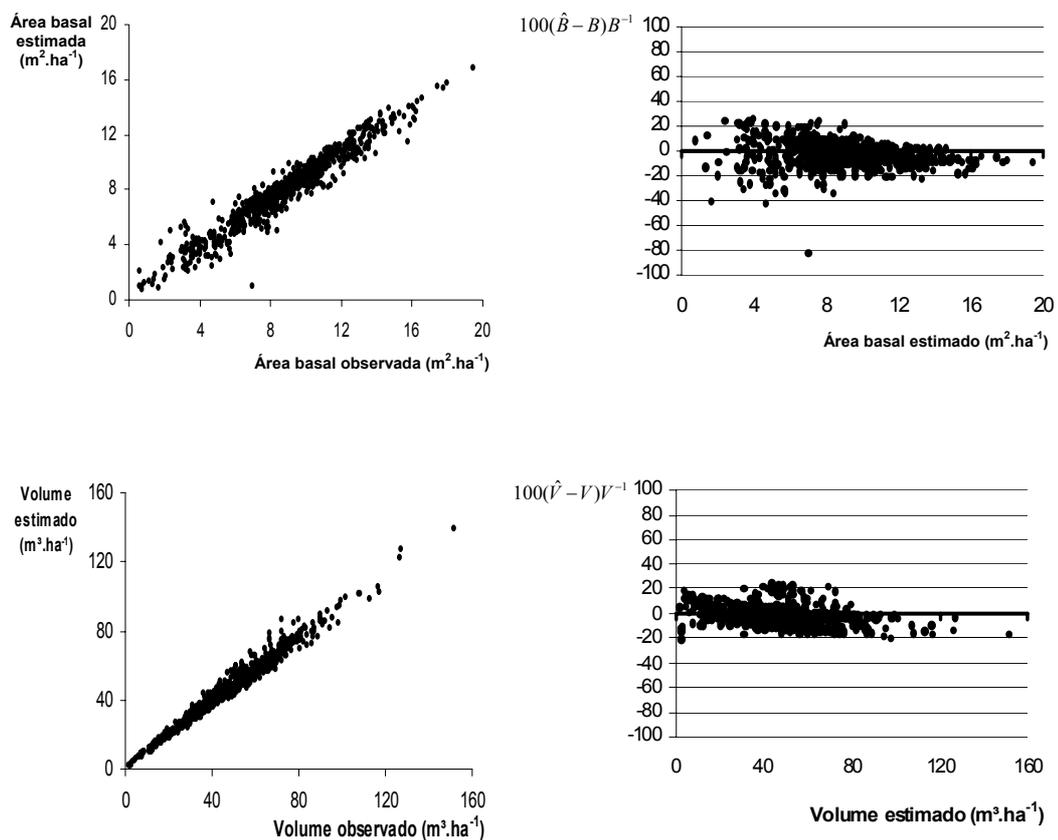


Figura 3 – Relações entre valores observados e estimados de produção ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  e  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ), utilizando-se o modelo de Clutter em sua forma usual.

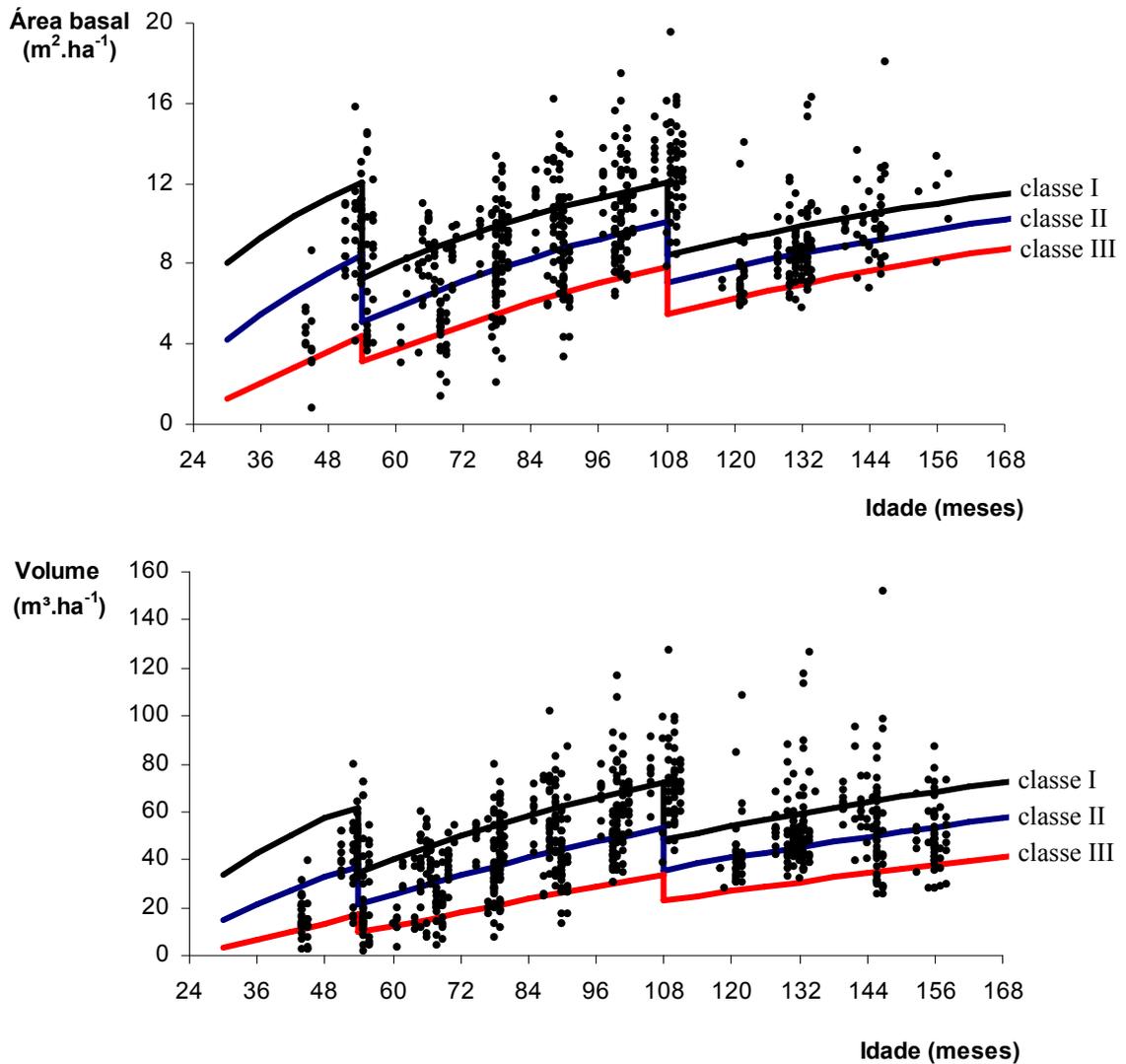


Figura 4 – Curvas de produção em área basal e em volume, obtidas pelo emprego do modelo de Clutter em sua forma usual, com aplicações de desbastes de 40 e 30% aos 54 e 108 meses de idade.

### 3.3. Modelo de Clutter modificado

Ao inclusão do termo  $\alpha \left( \frac{B_d I_d}{B_r I_2} - \frac{B_d I_d}{B_r I_1} \right)$  resultou no seguinte sistema

de equações:

$$\ln B_2 = \ln B_1 (I_1 I_2^{-1}) + 2,826409(1 - I_1 I_2^{-1}) - 0,000165 \left( \frac{B_d I_d}{B_r I_2} - \frac{B_d I_d}{B_r I_1} \right); \quad \bar{r}^2 = 0,778$$

$$\ln V_2 = 1,217641 - 24,20121(I_2^{-1}) + 0,07089S + 1,006922 \ln B_2; \quad \bar{r}^2 = 0,954$$

Os resultados da verificação foram semelhantes àqueles obtidos com a forma usual do modelo (Figuras 5 e 6). As tendências de crescimento projetadas nas três classes de capacidade produtiva também foram semelhantes àquelas obtidas com o modelo usual, porém houve tendência de subestimação de área basal em toda amplitude de área basal remanescente.

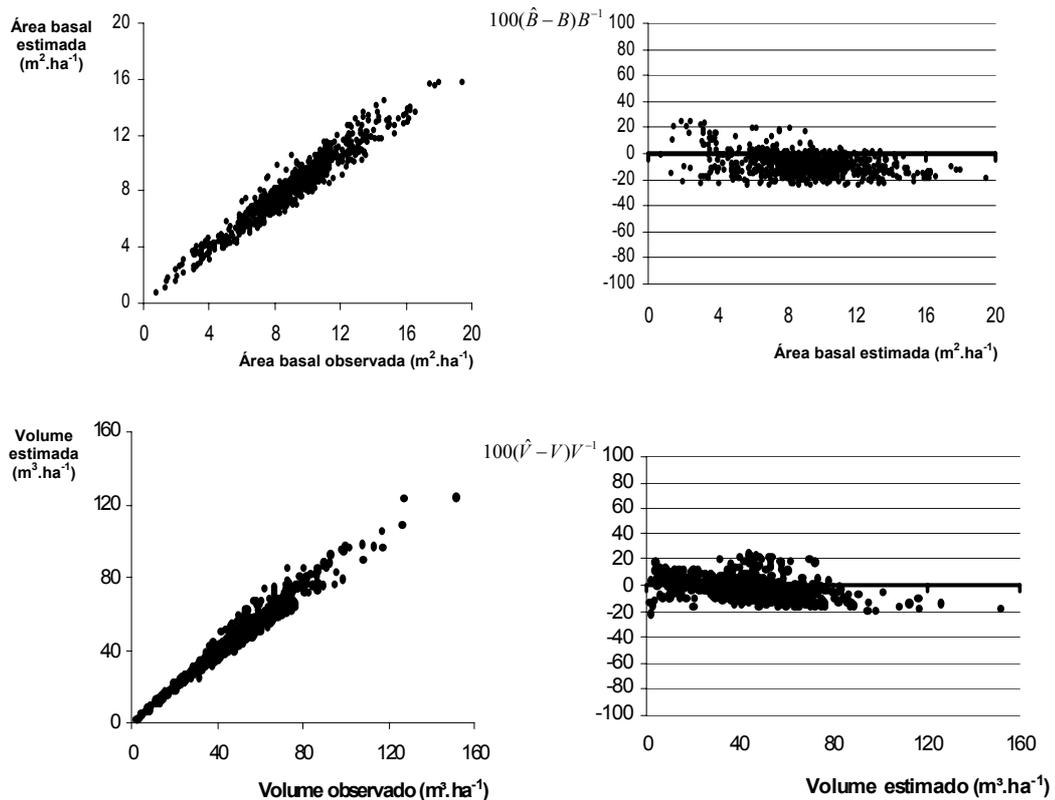


Figura 5 – Relações entre valores observados e estimados das variáveis área basal e volume, utilizando-se o modelo de Clutter modificado.

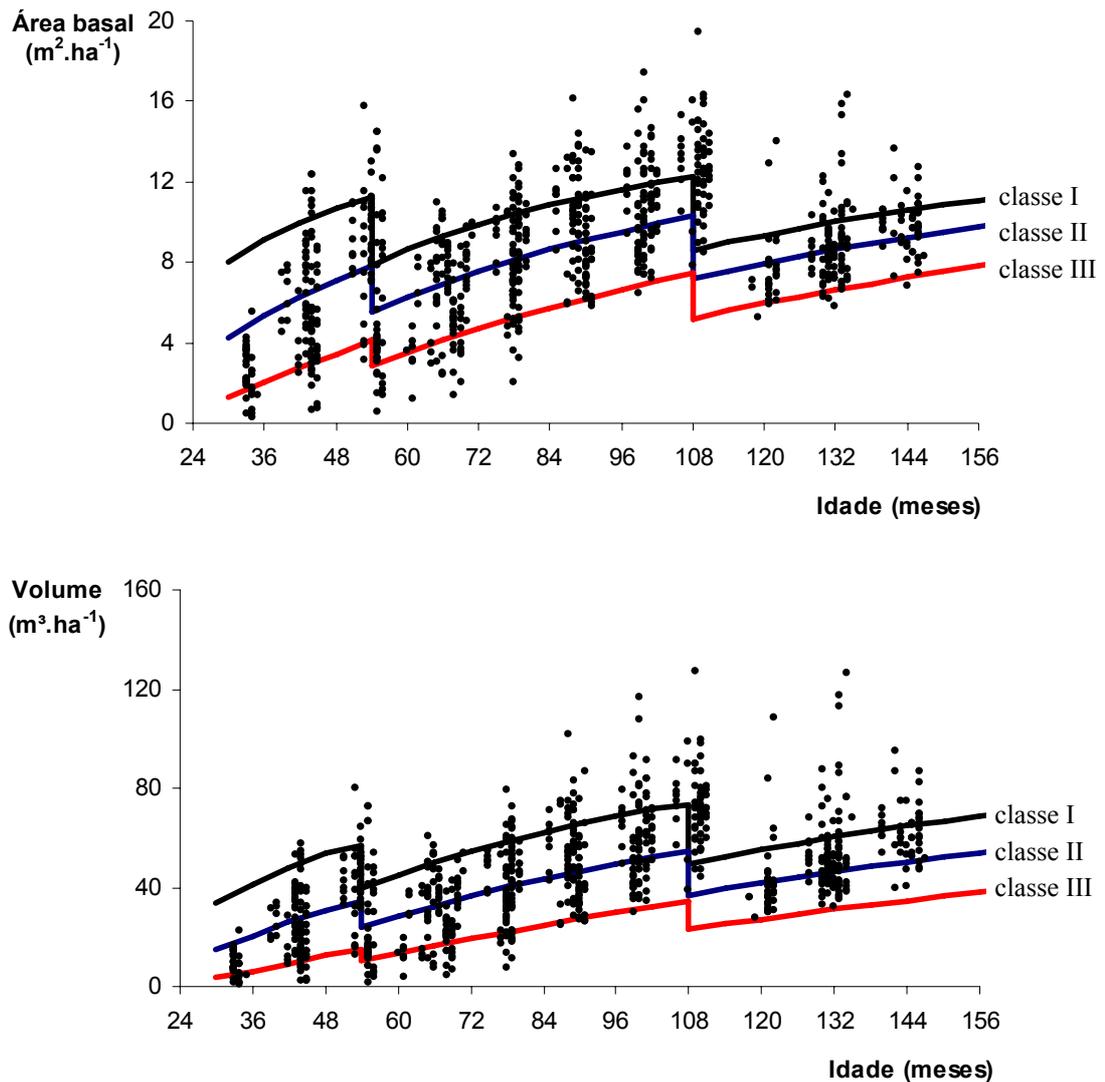


Figura 6 – Curvas de produção em área basal e em volume obtidas pelo emprego do modelo de Clutter modificado, com aplicações de desbastes de 40 e 30%, aos 54 e 108 meses de idade.

O uso do modelo modificado requer maior nível de detalhamento na coleta e no preparo da base de dados. Porém, em alguns casos o modelo na forma usual pode não resultar em consistência na tendência de crescimento pós-desbaste, conforme Dias et al. (2005) e Campos e Leite (2006). Neste estudo, o modelo na sua forma usual foi mais eficiente do que o modelo modificado, que inclui o termo de desbaste. Assim, as simulações de desbaste feitas com as equações do modelo na forma usual são mais consistentes.

### **3.4. Simulação de desbaste e projeção de volume**

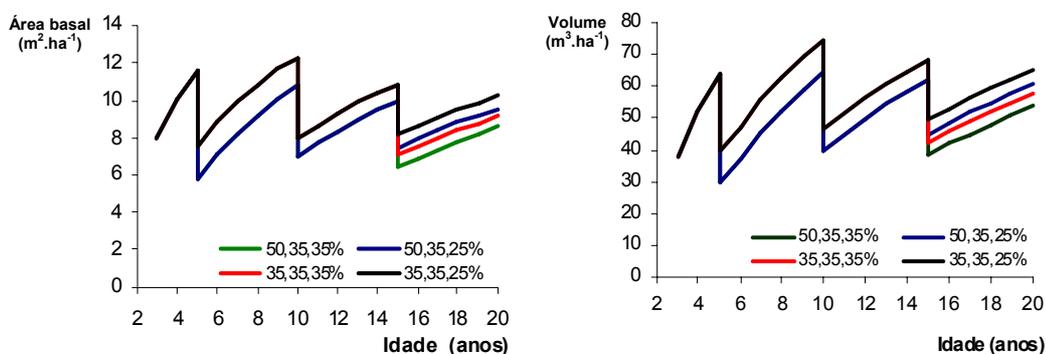
No primeiro cenário foram estabelecidas as idades de desbaste 5, 10 e 15 anos, com corte final aos 20 anos. A partir da aplicação das equações, foram realizadas simulações de desbaste com redução de 50, 35 e 35%; 50,35 e 25%; 35, 35 e 35%; e 35, 35 e 25% da área basal remanescente, em cada classe de local. As Figuras 7 e 8 e 9 e 10 contêm os resultados da aplicação do modelo de Clutter na sua forma usual e modificada, respectivamente.

Não foram evidenciadas mudanças nas tendências de crescimento pós-desbaste, independentemente do modelo utilizado. Isso também foi observado nos dados originais das parcelas permanentes. Maiores distâncias entre as curvas de produção foi observada na classe de local I e nas estimativas obtidas com o modelo na sua forma usual.

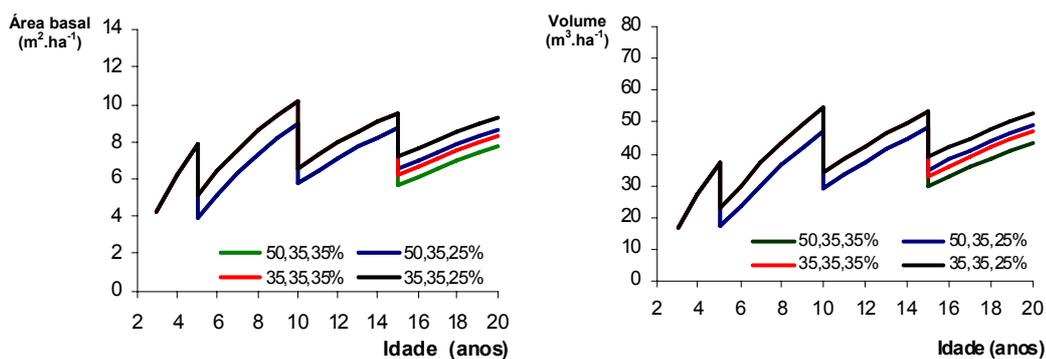
Independentemente da intensidade do desbaste, a produção líquida aos 20 anos foi praticamente a mesma. Assim, assumindo antecipação da mortalidade, com a aplicação dos desbastes é possível inferir que diferentes regimes e pesos de desbaste podem resultar em uma mesma produção líquida no corte final (Figura 10), porém com diferenças na qualidade da madeira e dimensão das toras.

Em locais com maior capacidade produtiva e tendo como critério a maximização da produtividade média (IMA) para definir a idade para aplicar o desbaste, uma intensidade de 35% de redução em área basal resultou um novo desbaste no ano seguinte. Portanto, em locais de maior capacidade produtiva recomenda-se um desbaste inicial mais pesado. Nas Figuras 11, 12 e 13 são apresentados os volumes de madeira colhidos em cada um dos desbastes propostos. Essa informação é essencial para definição da melhor prescrição de manejo. Independentemente da prescrição adotada, a produção líquida no final da rotação tende a ser a mesma. Cabe ressaltar que a aplicação de desbastes leves e mais frequentes é biologicamente indicada, porém do ponto de vista econômico, em geral, é inviável.

### Classe de local I



### Classe de local II



### Classe de local III

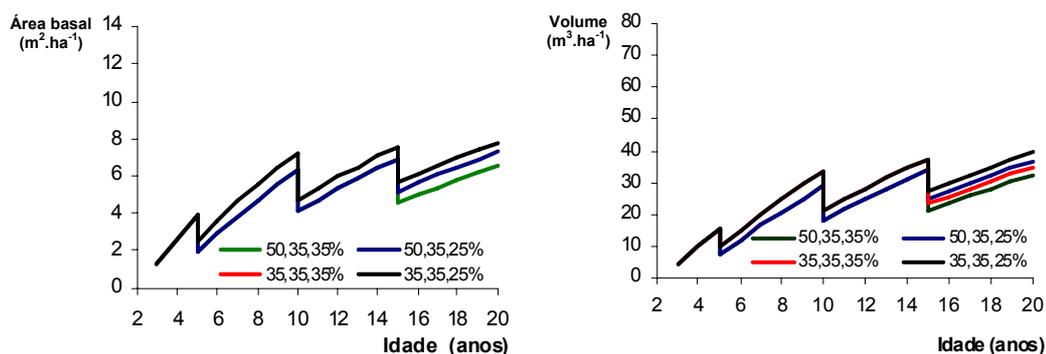
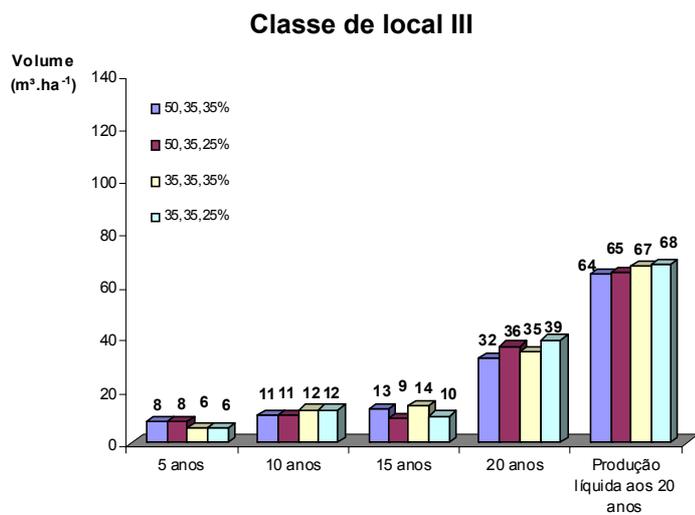
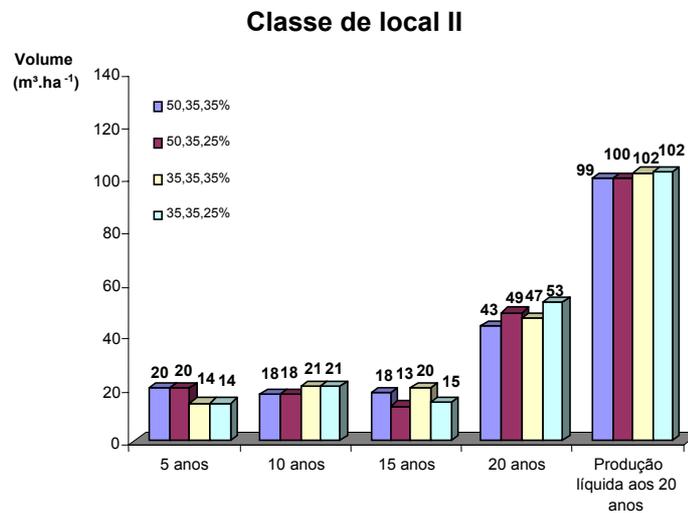
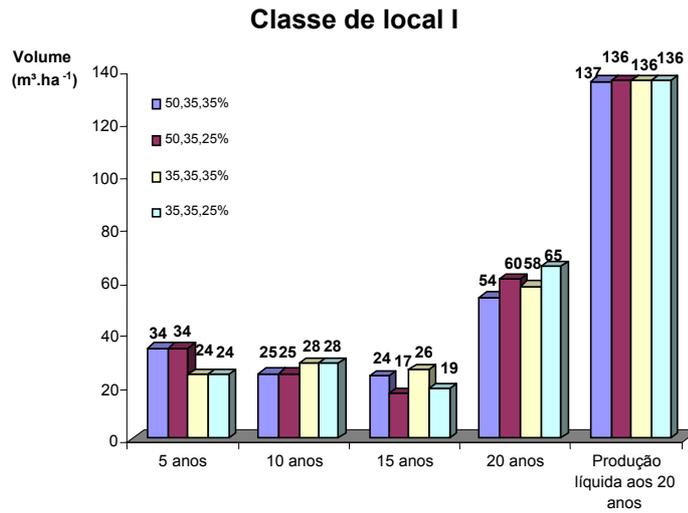
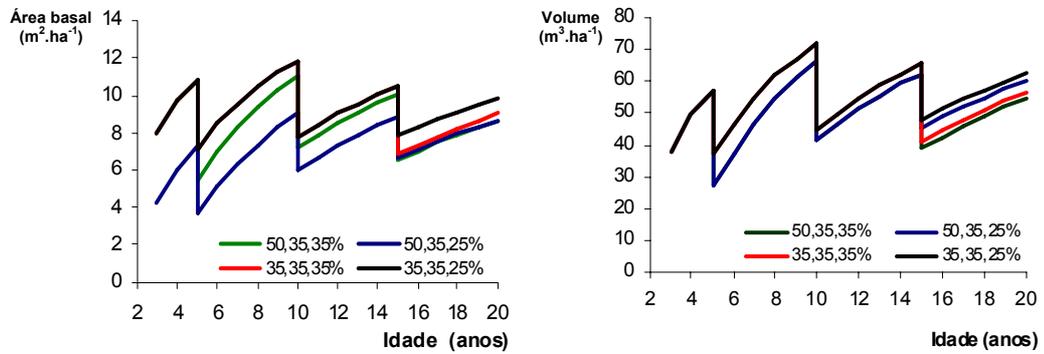


Figura 7 – Produções em área basal e em volume, das diferentes classes de produtividade, estimadas utilizando-se o modelo de Clutter na forma usual ( $\alpha_1$ ).

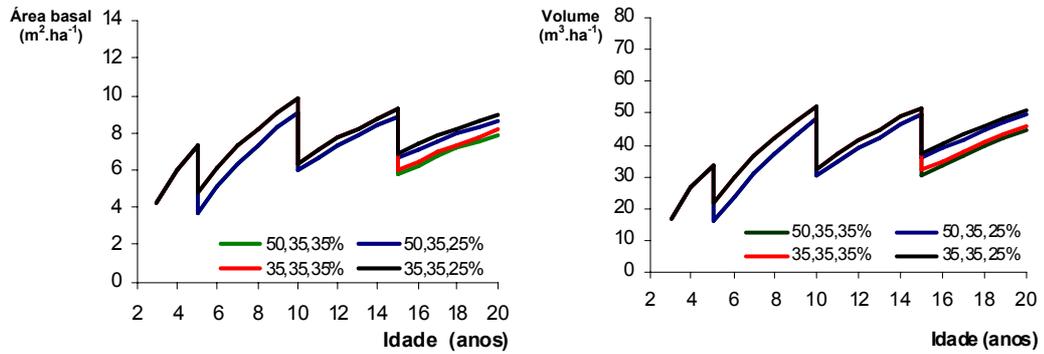


Figuras 8 – Estimativas de produção desbastada de diferentes classes de produtividade e diferentes combinações de peso de desbaste, empregando-se o modelo de Clutter na forma usual ( $\alpha_1$ ).

### Classe de local I



### Classe de local II



### Classe de local III

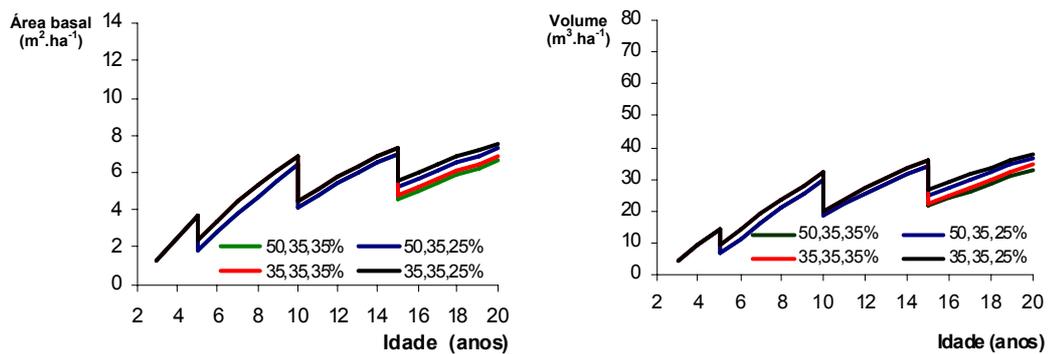


Figura 9 – Produções em área basal e em volume das diferentes classes de produtividade, estimadas utilizando-se o modelo de Clutter modificado ( $\alpha_2$ ).

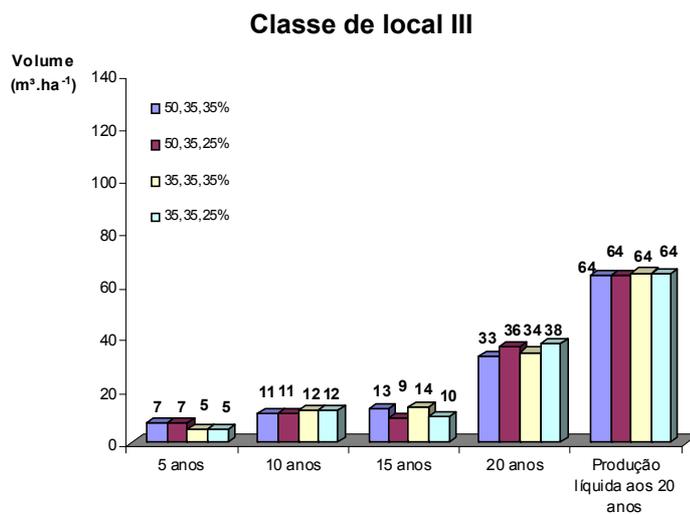
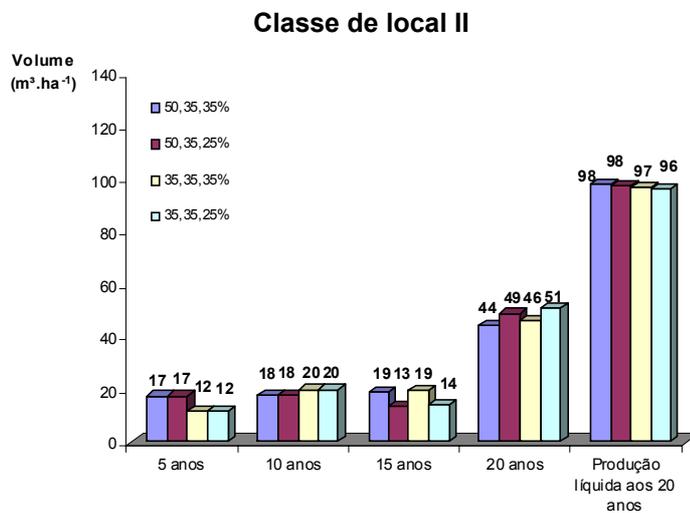
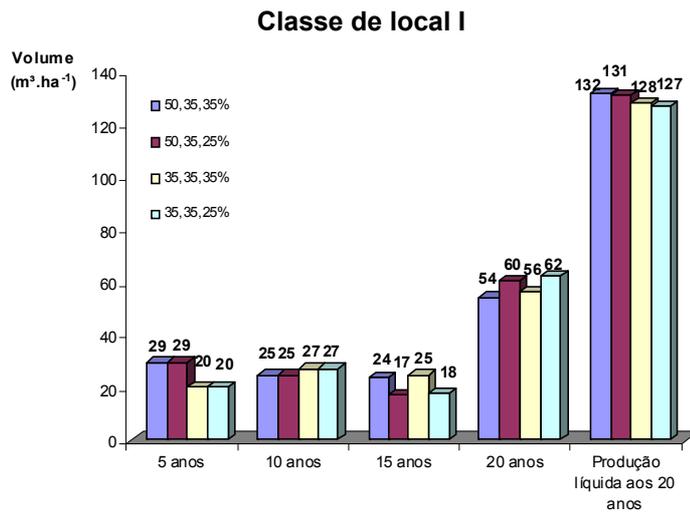


Figura 10 – Estimativas de produção desbastada das diferentes classes de produtividade e diferentes combinações de peso de desbaste, empregando-se o modelo de Clutter modificado ( $\alpha_2$ ).



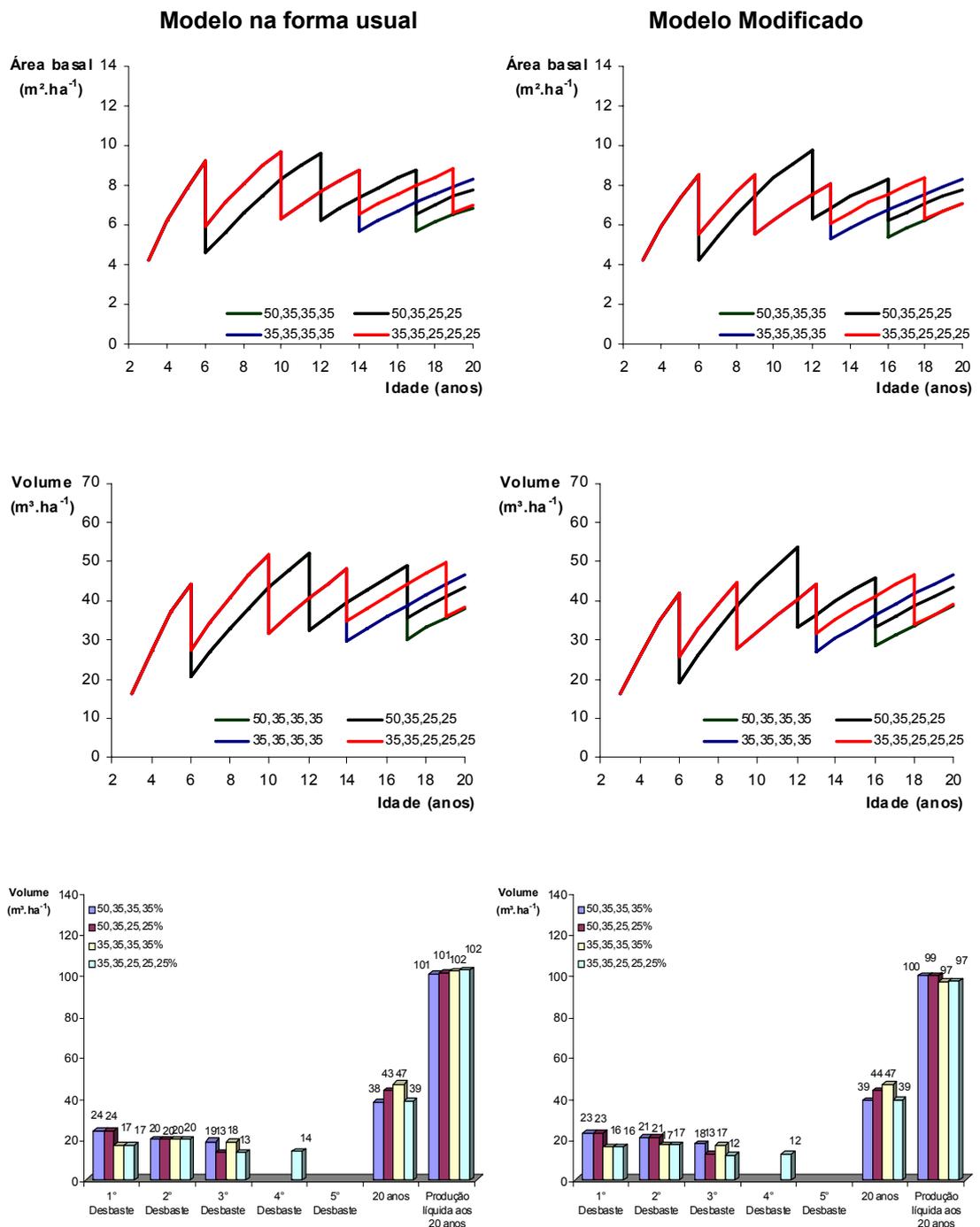


Figura 12 – Estimativas de volume e área basal na classe de local II, empregando-se o modelo de Clutter em suas formas usual ( $\alpha_1$ ) e modificada ( $\alpha_2$ ).

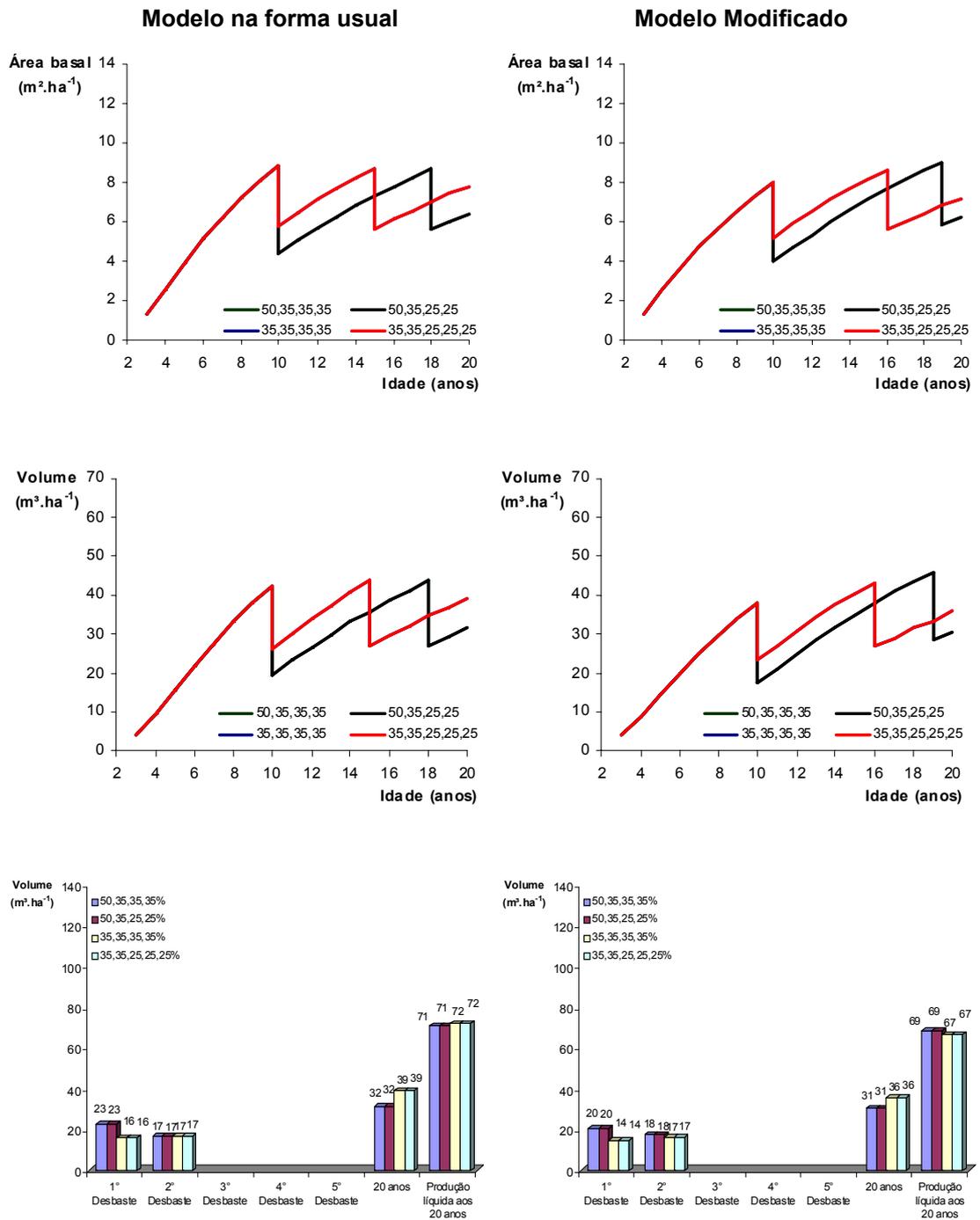


Figura 13 – Estimativas de volume e área basal na classe de local III, empregando-se o modelo de Clutter em suas formas usual ( $\alpha_1$ ) e modificada ( $\alpha_2$ ).

Com base na informação volumétrica e na época de realização dos desbastes, pode-se afirmar que a prescrição mais adequada para a classe de capacidade produtiva I, considerando o horizonte de planejamento de 20 anos, foi de 50, 35, 25 e 25% de redução em área basal na idade de máximo IMA (48, 96, 108 e 180 meses de idade). Na classe de local II, a prescrição mais adequada foi de 35, 35, 35 e 35%, nas idades de 48, 96, 108 e 180 meses, respectivamente. Na classe de local III foram aplicados apenas dois desbastes, que pode ser explicado pela baixa capacidade de resposta das árvores remanescentes em locais de baixa capacidade produtiva. Isso pode ser comprovado pela produção líquida média aos 20 anos, de  $71,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , quando comparadas as classes I e II, com produções, em média, de 134 e  $101 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , respectivamente. Na classe III, a prescrição 35 e 35% (72 e 144 meses) foi a mais indicada. Cabe ressaltar que, em locais de baixa capacidade produtiva, a fertilização pós-desbaste pode resultar em algum ganho em termos de crescimento. Além disso, a decisão final sobre o melhor regime de desbaste depende de questões de ordem econômica. Conforme Campos e Leite (2006), enquanto a época de aplicação do desbaste é uma questão de ordem mais biológica, as intensidades de desbaste e rotação são essencialmente problemas econômicos.

## 4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados, pôde-se concluir que:

- A tendência de crescimento em altura dominante nos povoamentos de teca submetidos a desbastes, na região de estudo, até próximo de 10 anos, é exponencial.
- O modelo de Clutter na sua forma usual é eficiente para modelagem do crescimento e produção de povoamentos de teca submetidos a desbaste seletivo.
- Povoamentos em locais com maior capacidade produtiva suportam desbastes iniciais mais pesados.
- Povoamentos em locais com baixa capacidade produtiva respondem muito pouco ao desbaste, sendo desaconselhável a sua aplicação.

## 5. REFERÊNCIAS

BAILEY, R.L.; WARE, K.D. Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands. **Can. J. For. Res.**, 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. (Tech Bull, 1272).

CAMPOS, J.C.C. Aplicação de um modelo compatível de crescimento e produção de densidade variável em plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 2, n. 10, p. 121-134, 1986.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 470 p.

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

DIAS, A.N.; LEITE, H.G.; SILVA, M.L.; CARVALHO, A. Avaliação financeira de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 419-429, 2005.

DIAS, A.N.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; COUTO, L.; CARVALHO, A. Emprego de um modelo de crescimento em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 731-740, 2005.

DIAS, A.N.; LEITE, H.G.; NOGUEIRA, G.S.; RODRIGUES, F.L. Avaliação de métodos de ajuste de curvas de índices de local em povoamentos de eucalipto desbastados. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 741-748, 2005.

NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; TAKIZAWA, F.H.; COUTO, L. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 30, p. 377-388, 2006.

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

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.

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.; 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.; SHIVER, B.D. Basal area projection and projection equations for pine plantations. **Forest Science**, v. 32, n. 5, p. 626-633, 1986.

## **CAPÍTULO II**

### **EFICIÊNCIA DA AMOSTRAGEM SELETIVA PARA MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* SUBMETIDOS A DESBASTE**

#### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da amostragem seletiva, por meio de pós-estratificação, para o ajuste de modelos de crescimento e produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. Foram testadas cinco alternativas de amostragem. Nas três primeiras foram selecionadas aleatoriamente 30 amostras de 5, 8 e 10 parcelas por classe de local, na quarta foram utilizadas apenas as parcelas da classe de local II e na quinta, todas as parcelas. A aplicação dos modelos demonstrou semelhança entre todas as alternativas. Todos os modelos foram consistentes na estimativa da idade de máximo incremento médio anual do povoamento. Com base nos resultados, foi confirmada a eficiência da amostragem seletiva para o ajuste de modelos de crescimento e produção.

Palavras-chave: Teca, modelagem e amostragem seletiva.

## **EFFICIENCY OF THE SELECTIVE SAMPLING FOR GROWTH AND PRODUCTION MODELING**

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the efficiency of the selective sampling, by means of the post-stratification, for the adjustment of models of growth and production of the stands of *Tectona grandis* submitted to thinning. Five sampling approaches were tested. In the first three, 30 samples of 5, 8 and 10 plots per location class were randomly selected. In the fourth approach, only the plots of the class of location II were used, while in the fifth approach, all the plots were used. The application of the models presented similarities among all the alternatives. All the models were congruent in the estimation of the age of the maximum annual average increment of the stand. Based on these results, the efficiency of the selective sampling for the adjustment of models of growth and production was corroborated.

Keywords: Teak, modeling and selective sampling.

## 1. INTRODUÇÃO

A dinâmica de vida das florestas sofre mudanças rápidas devido a fatores que mudam constantemente no espaço e no tempo. Fatores inerentes ao solo, ao clima e à própria planta influenciam acentuadamente essa dinâmica, além das ações antrópicas (adubação e melhoramento genético, entre outros). Toda essa dinâmica deve ser acompanhada por técnicas de amostragem que sejam eficientes na representação do estado atual e temporal da floresta, a fim de gerar informações precisas e com menor custo possível, para subsidiar as ações de manejo florestal (MELLO, 2004).

A preocupação em amostrar adequadamente florestas não é assunto novo. Desde o início da ciência florestal, pesquisadores se preocupam com métodos de amostragem eficientes e de custo baixo. O desejável em amostragem é obter informações precisas e de baixo custo. A redução do custo com a amostragem está alicerçada basicamente na redução da intensidade amostral e na distribuição espacial das unidades de amostra. Portanto, é necessário utilizar critérios e ferramentas que possibilitem a redução dos custos sem perda de precisão.

Uma das maneiras de aumentar a precisão da média em qualquer método de amostragem é estratificar a população. Essa estratificação deve ser feita com base em características que tenham relação direta com a característica a ser estimada. No caso da produção em volume ou massa de

madeira por ha, uma característica importante utilizada para estratificação é a capacidade produtiva do lugar, sendo comum o emprego de índices de local.

O índice de local é o mais utilizado para estimar a capacidade produtiva de um povoamento florestal, sendo uma expressão da qualidade do local baseada na altura das árvores dominantes em determinada idade-referência (ou idade-índice). A altura média das árvores dominantes não é afetada por competição quando o espaçamento não é excessivamente denso (CAMPOS et al., 1991), sendo por isso bom indicador de capacidade produtiva. Além de servir para fins de estratificação, os índices de local são utilizados como variáveis explicativas em modelos de crescimento e produção.

Tanto a classificação da capacidade produtiva quanto a modelagem de crescimento e da produção têm sido feita, no Brasil, empregando dados de inventários florestais contínuos. Esse tipo de inventário é feito empregando-se amostragem aleatória, que resulta em grande frequência de parcelas na condição média dos povoamentos, porém nem sempre garante representatividade nas condições extremas. Não constitui inconveniente para propósito de inventário, uma vez que no inventário florestal contínuo o objetivo é obter intervalos de confiança para a média com alta exatidão. A amostragem aleatória com frequência suficiente de parcelas garante a alta exatidão. A amostragem para modelagem de crescimento e produção é a seletiva. Essa é uma hipótese que ainda não foi confirmada.

Por meio de amostragem seletiva e com garantia de representatividade, com mesma frequência, nas condições extremas e intermediárias, a modelagem de crescimento e produção deve ser mais eficiente.

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da amostragem seletiva, feita por meio de pós-estratificação de dados de inventário florestal contínuo, para modelagem de crescimento e produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a debate no Estado do Mato Grosso.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram oriundos de inventários conduzidos em povoamentos de *Tectona grandis*, localizados no Município de Jangada, região centro-sul do Estado do Mato Grosso. Foram utilizados dados de 94 parcelas permanentes de inventário florestal contínuo, de 490,8 m<sup>2</sup> de área, instaladas em 1994. O espaçamento inicial entre plantas foi de 3 x 2 m, e as parcelas foram medidas, em média, aos 34, 43, 55, 67, 79, 94, 108, 120, 132 e 150 meses de idade.

Através de interpolação simples com o auxílio de software ArcGis, foram gerados mapas de classes de capacidade produtiva (Figura 1) e de incremento médio anual (Figura 2) da primeira e da última medição, 1998 e 2006, respectivamente, para definição do critério de estratificação.

Após as análises gráficas foi determinado o critério de estratificação baseado na capacidade produtiva em idade inicial. Algumas empresas têm estratificado suas florestas com base na máxima produtividade (IMA), por ocasião do corte final. Porém, a utilização desse critério pode ser inadequada, uma vez que o volume é uma variável altamente influenciada pelo diâmetro, que, por sua vez, é altamente influenciado pelo desbaste. No entanto, a estratificação pela capacidade produtiva, que leva em consideração a altura dominante, possui menor interferência da densidade do povoamento, embora, em alguns casos, o desbaste possa alterar as taxas de crescimento em altura e diâmetro das árvores individuais.

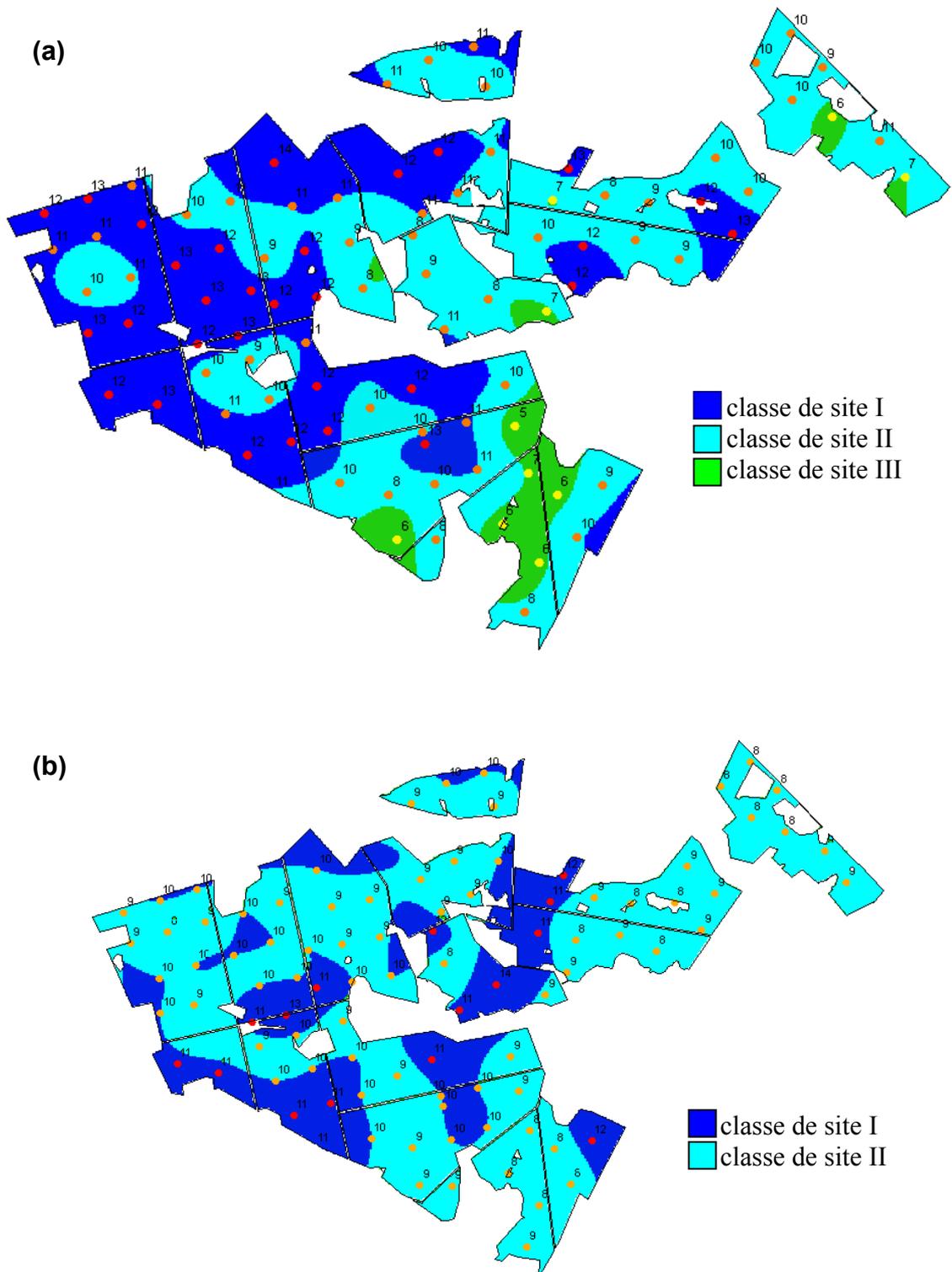


Figura 1 – Estratificação de um povoamento de *Tectona grandis* no Estado do Mato Grosso, com base na capacidade produtiva do local em 1998 (a) e em 2006 (b).

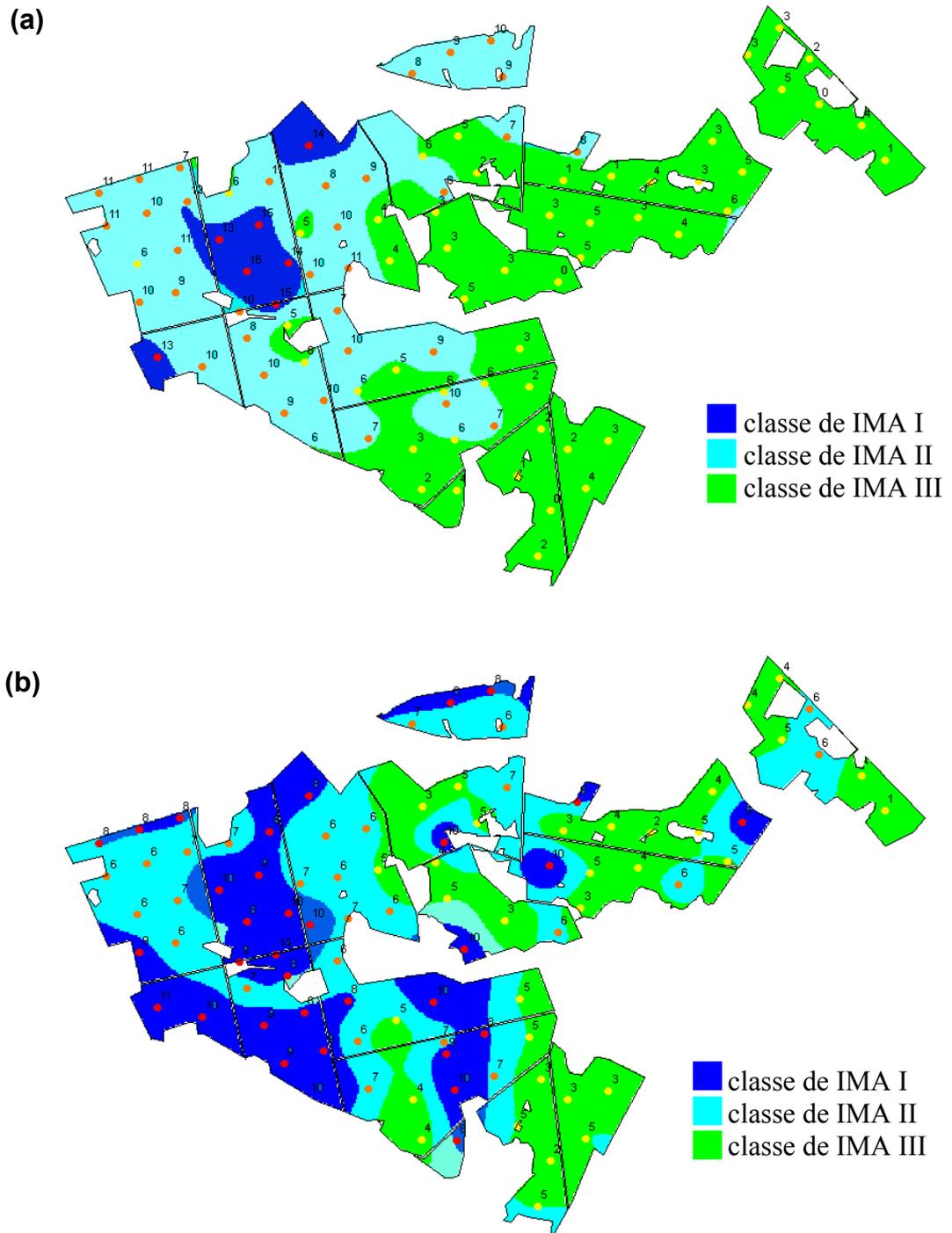


Figura 2 – Estratificação de um povoamento de *Tectona grandis* no Estado do Mato Grosso, com base no IMA 1998 (a) e no IMA 2006 (b).

Uma vez definido o critério de pós-estratificação, as parcelas foram classificadas de acordo com a capacidade produtiva, a partir dos dados do primeiro inventário, em uma idade média de três anos, em três classes de local. As 94 parcelas foram classificadas em 41 parcelas na classe de local I, 43 na classe de local II e 10 na classe de local III, sendo I a de maior produtividade.

A partir dessa estratificação foram simuladas cinco alternativas de amostragem (Tabela 1). As alternativas consistiram na seleção de 5, 8 e 10 parcelas por classe de local e, por último, na utilização das parcelas existentes apenas na classe de local II e no uso de todas as 94 parcelas. No caso das alternativas 1, 2 e 3, foram realizados 30 sorteios aleatórios, gerando combinações diferentes de parcelas para cada ajuste. Para cada ocasião foi ajustado o modelo de Clutter (1963) em sua forma usual:

$$LnB_2 = LnB_1(I_1 I_2^{-1}) + \alpha_0(1 - I_1 I_2^{-1}) + \alpha_1(1 - I_1 I_2^{-1})S_1 + \varepsilon \quad (1)$$

$$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon \quad (2)$$

em que:

$V_2$  = volume na idade de projeção  $I_2$ , em  $m^3 \cdot ha^{-1}$ ;

$I_1$  = idade atual, em meses;

$I_2$  = idade de projeção, em meses;

$S_1$  = índice de local na idade atual, em m;

$B_1$  = área basal na idade atual  $I_1$ , em  $m^2 \cdot ha^{-1}$ ;

$B_2$  = área basal na idade de projeção  $I_2$ , em  $m^2 \cdot ha^{-1}$ ;

$\alpha$  e  $\beta$  = parâmetros;

$Ln$  = logaritmo neperiano; e

$\varepsilon$  = erro aleatório,  $\varepsilon \sim NID(0, \delta^2)$ .

Tabela 1 – Alternativas de amostragem para ajuste de modelo de crescimento e produção

<b>Alternativa</b>	<b>Amostragem</b>	<b>Número total de parcelas</b>
1	5 parcelas por classe de local	15
2	8 parcelas por classe de local	24
3	10 parcelas por classe de local	30
4	Somente parcelas da classe de local II	43
5	Todas parcelas	94

A avaliação dos modelos, ajustados aos dados das cinco alternativas de amostragem, foi feita com base na análise de resíduos e na capacidade dos modelos em descrever o fenômeno biológico implícito no povoamento. Foi simulado um cenário de desbastes aos 5, 10 e 15 anos, com intensidade de 50, 35 e 35% de redução em área basal, para verificar a similaridade das estimativas geradas pelos modelos ajustados pelas cinco alternativas. Por fim, foi estimada a idade de máximo incremento médio anual, para verificação da consistência dos ajustes, considerando-se as cinco alternativas de amostragem de cada classe de local. Nas alternativas 1, 2 e 3, em que foram feitos 30 sorteios aleatórios, empregaram-se as médias dos parâmetros estimados nesses sorteios.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de Clutter em sua forma usual, ajustado a partir da aplicação das cinco alternativas de amostragem, resultou nas estimativas da Tabela 2. Vale ressaltar que os parâmetros das alternativas 1, 2 e 3 foram obtidos através da média dos 30 ajustes realizados. Esses 30 ajustes estão relacionados em anexo.

À medida que aumenta o número de parcelas por classe de local (5, 8 e 10), menor é a variabilidade (maior estabilidade) nas estimativas dos parâmetros dos modelos de Clutter (Figura 3).

Tabela 2 – Estimativas dos parâmetros do modelo de Clutter ajustado em sua forma usual, obtidas a partir de diferentes metodologias de amostragem

Alternativas	Amostragem*	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$r^2$ equação 1**	$r^2$ equação 2***
1	5-5-5	2,43868	ns	1,203445	-23,33568	0,073797	0,998568	0,792	0,964
2	8-8-8	2,445900	ns	1,198699	-22,448830	0,070522	1,010352	0,790	0,968
3	10-10-10	2,452320	ns	1,200523	-23,35019	0,074267	0,997684	0,784	0,967
4	Somente parcelas sitell	2,457137	ns	1,092034	-20,727170	0,073438	1,040381	0,667	0,947
5	Todas as parcelas	2,40491	ns	1,217641	-24,201210	0,070890	1,006922	0,731	0,934

\* 5-5-5, 8-8-8 e 10-10-10 são as frequências de parcelas para cada classe de local I, II e III.

\*\*  $LnB_2 = LnB_1(I_1 I_2^{-1}) + \alpha_0(1 - I_1 I_2^{-1}) + \alpha_1(1 - I_1 I_2^{-1})S_1 + \varepsilon$  ; \*\*\*  $LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon$  .

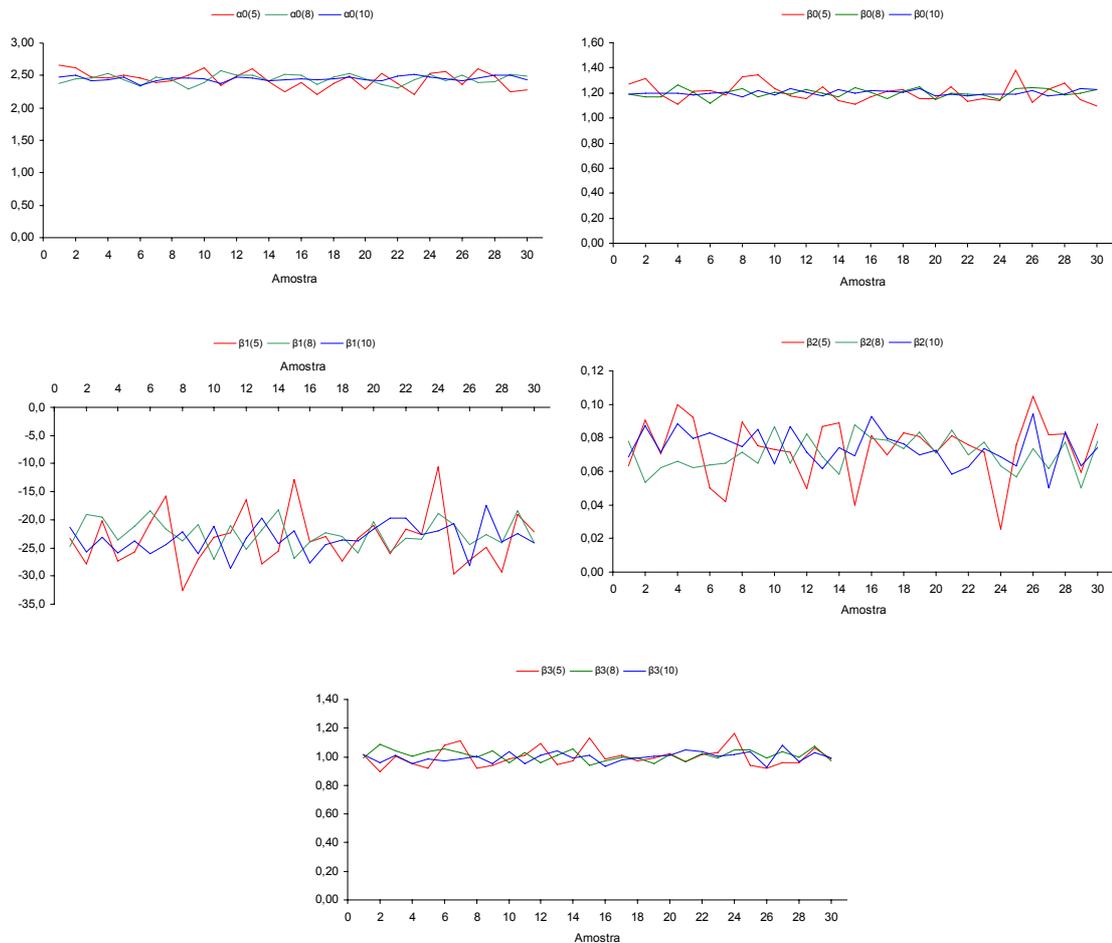


Figura 3 – Estimativas dos parâmetros  $\alpha_0$  e  $\beta_n$  do modelo de Clutter obtidas em 30 amostras aleatórias de 5, 8 e 10 parcelas por classe de local.

Verifica-se, nessa figura, que a distribuição de resíduos para as variáveis área basal e volume foi semelhante nas cinco alternativas de amostragem (Figuras 3, 4, 5, 6 e 7). Em todos os casos, foram observados alguns *bias*, e os desvios ficaram em torno de  $\pm 20\%$ , com exceção de alguns *outliers*. É importante observar que na Figura 3 constam estimativas em nível de parcela e esse tipo de estimativa não tem interesse prático no caso de prognose. Estimativas de volume futuro de interesse são aquelas em nível de talhão, lote ou projeto. Nesse caso, o nível de precisão é sempre superior ao das Figuras 4, 5, 6, 7 e 8. Uma distribuição de resíduos ligeiramente melhor foi obtida com a alternativa 3 (10 parcelas por classe de local), em comparação com a alternativa 5 (todas as 94 parcelas).

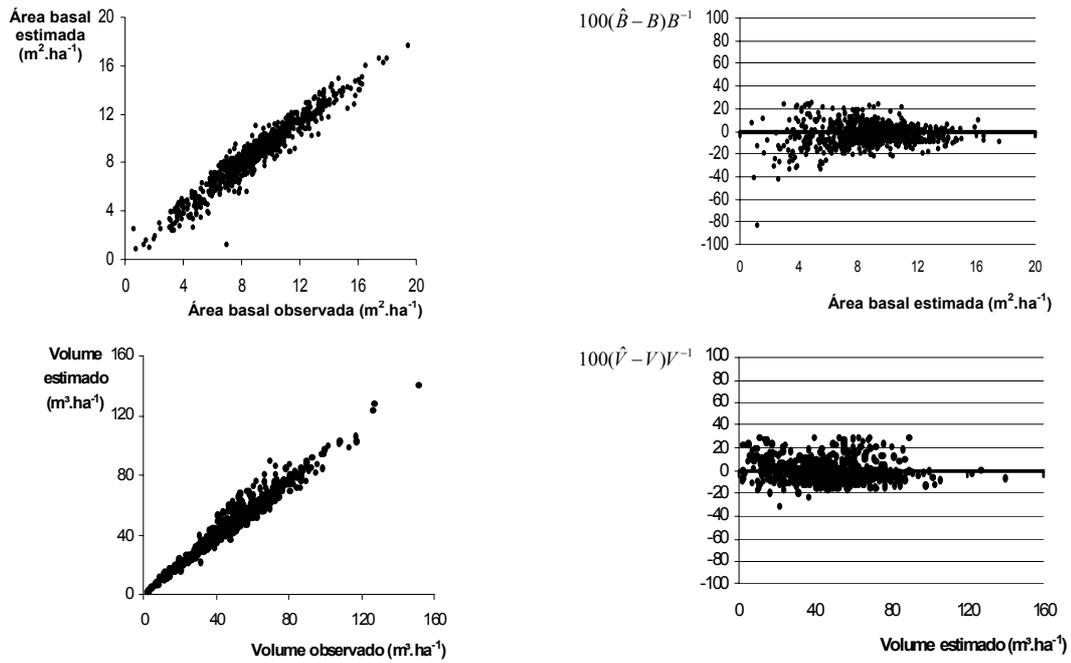


Figura 4 – Relações entre valores observados e estimados de produção (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) e análise de resíduos da alternativa de amostragem 1, empregando-se o modelo de Clutter.

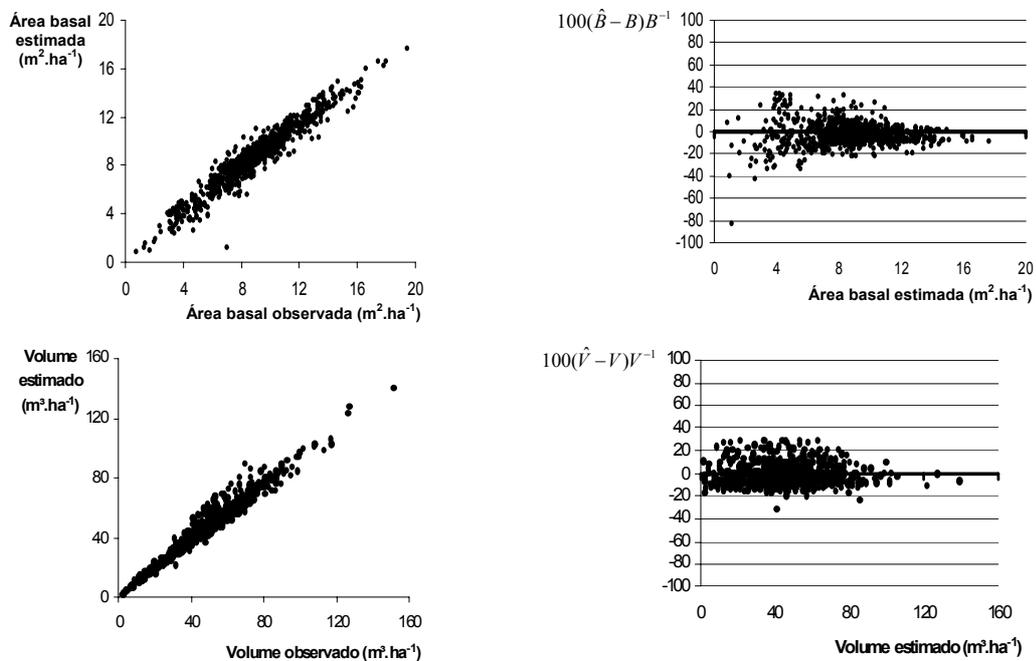


Figura 5 – Relações entre valores observados e estimados de produção (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) e análise de resíduos da alternativa de amostragem 2, empregando-se o modelo de Clutter.

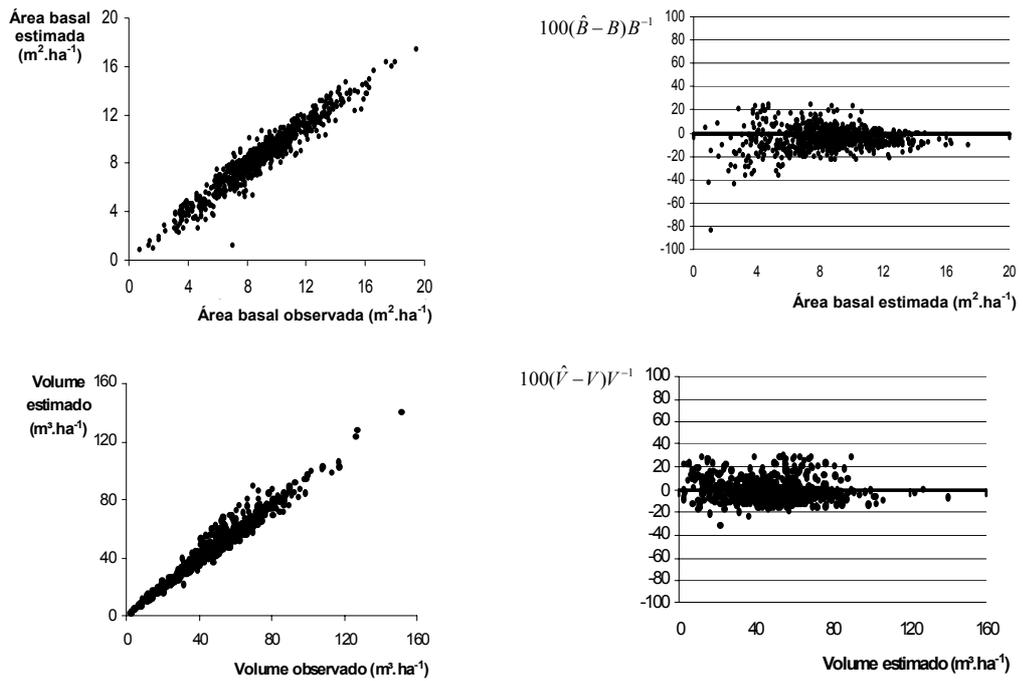


Figura 6 – Relações entre valores observados e estimados de produção ( $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$  e  $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ ) e análise de resíduos da alternativa de amostragem 3, empregando-se o modelo de Clutter.

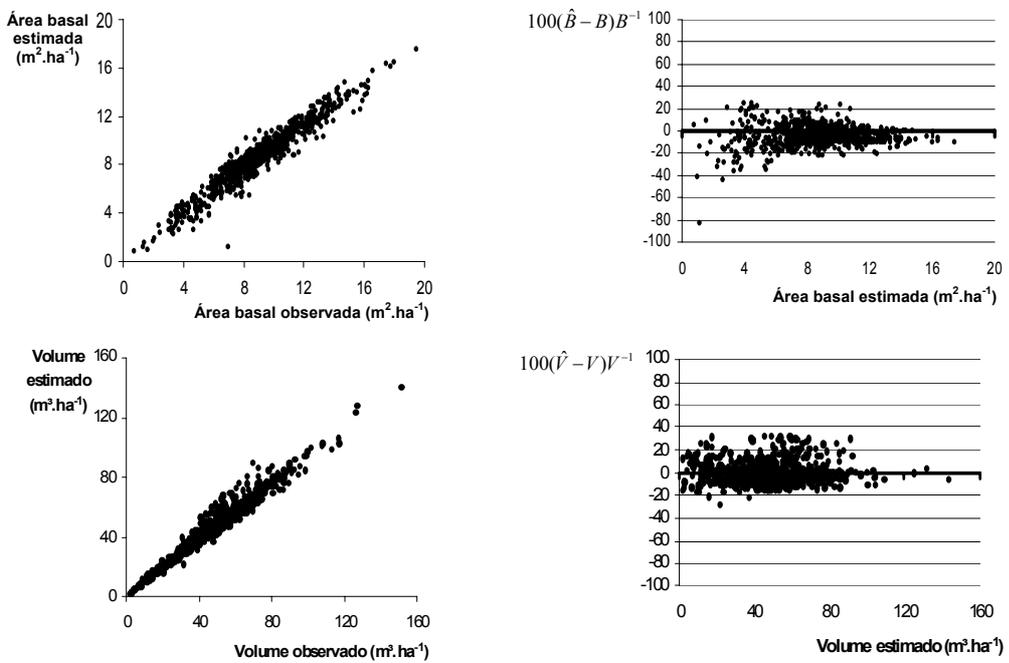


Figura 7 – Relações entre valores observados e estimados de produção ( $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$  e  $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ ) e análise de resíduos da alternativa de amostragem 4, empregando-se o modelo de Clutter.

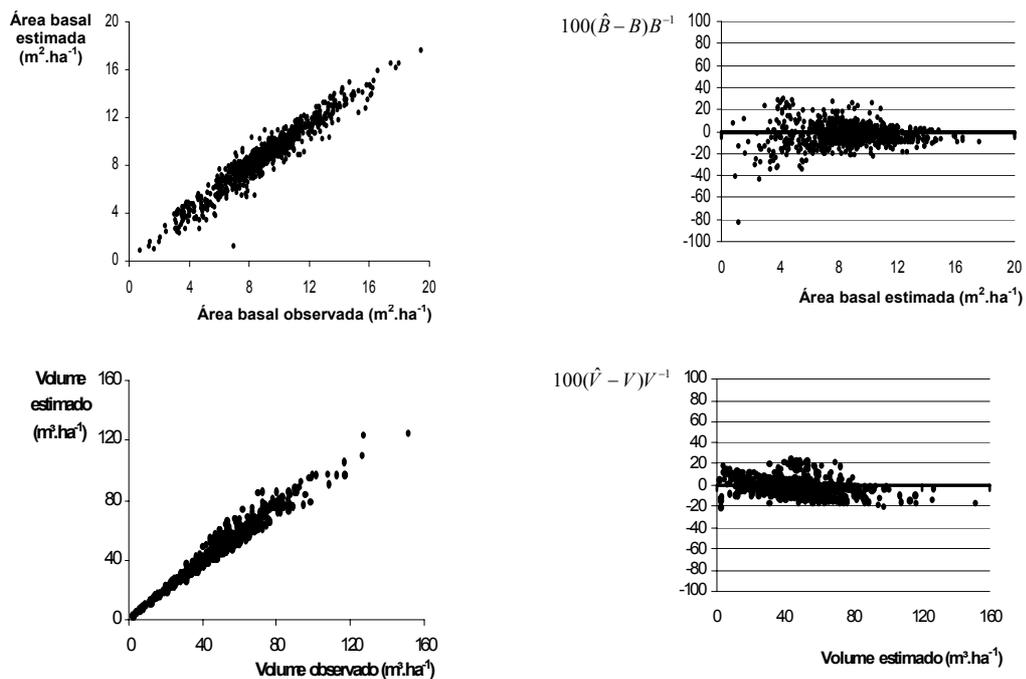
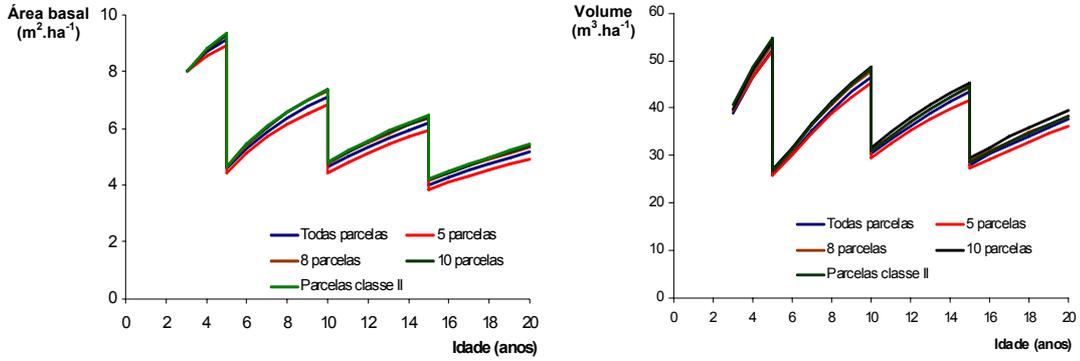


Figura 8 – Relações entre valores observados e estimados de produção ( $\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$  e  $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ ) e análise de resíduos da alternativa de amostragem 5, empregando-se o modelo de Clutter.

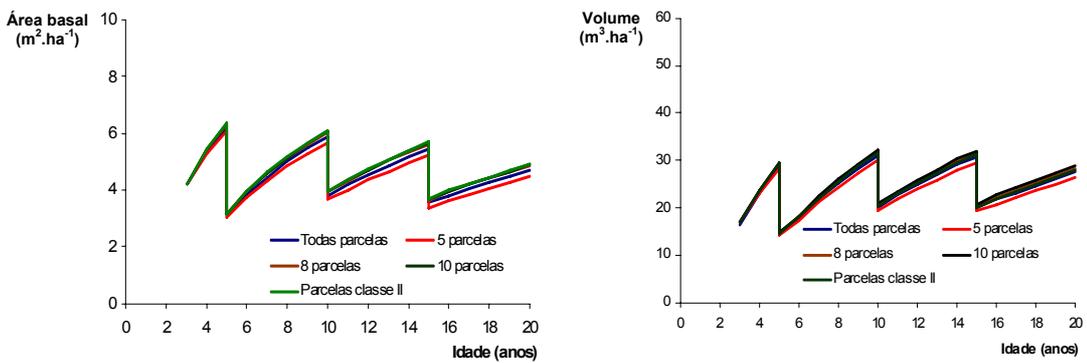
Uma vez ajustados, os modelos foram utilizados para simular uma prescrição de manejo, nas três classes de local (desbastes aos 5, 10 e 15 anos, com redução de 50, 35 e 35% da área basal remanescente e corte final aos 20 anos). Observou-se que todas as alternativas de amostragem propostas foram semelhantes (Figura 8), embora as alternativas de uso de 5 e 8 parcelas tenham resultado em menores produções, tanto em área basal quanto em volume. Esse fato comprova a possibilidade de redução de intensidade amostral para obtenção de dados para modelagem.

Outra informação gerada a partir da aplicação dos modelos ajustados foi a idade de máxima produtividade (IMA), por classe de local. Essa informação é referência para definição da idade técnica de colheita (Tabela 3).

### Classe de local I



### Classe de local II



### Classe de local III

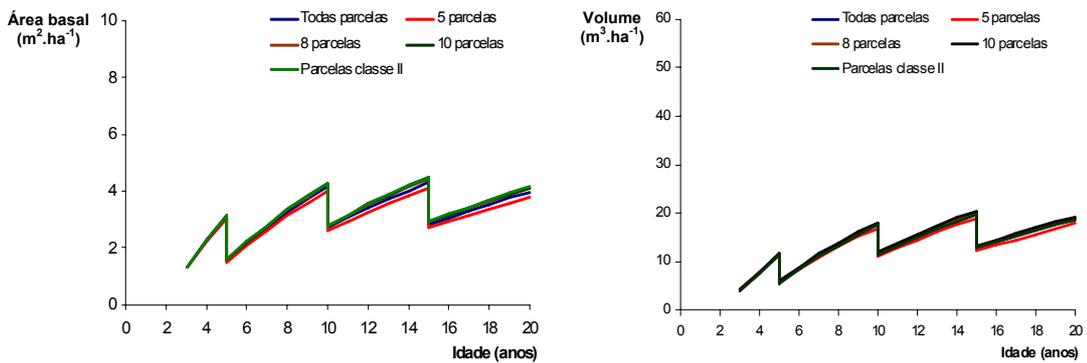


Figura 8 – Curva de produção em área basal e em volume obtidos pelo emprego do modelo de Clutter, para cada alternativa de amostragem.

Tabela 3 – Idade, em meses, de máximo incremento médio anual, determinada pela aplicação dos cinco modelos gerados a partir das diferentes alternativas de amostragem para cada classe de capacidade produtiva (I, II e III)

<b>Alternativa</b>	<b>Amostragem</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
1	5 parcelas por classe de local	34	56	97
2	8 parcelas por classe de local	36	58	101
3	10 parcelas por classe de local	37	59	101
4	Somente parcelas classe de local II	37	58	101
5	Todas parcelas	36	58	101
Média	-	36	58	100

As idades de máximo incremento médio anual em cada classe de capacidade produtiva foram próximas, independentemente da alternativa de amostragem utilizada, sendo em média aos 36, 58 e 100 meses, nas classes de local I, II e III, o que demonstra a consistência dos ajustes. No Anexo são apresentadas as estimativas dos coeficientes do modelo de Clutter para cada um dos 92 ajustes. A ocorrência do IMA máximo aos 36 meses em locais de elevada capacidade produtiva não é inconsistente, uma vez que em alguns povoamentos de teca do Estado do Mato Grosso isso tem sido observado.

## **4. CONCLUSÕES**

Dados de parcelas permanentes de inventário florestal contínuo (IFC) não constituem necessariamente boa base de dados para modelagem de crescimento e produção.

Uma boa pós-estratificação em base de dados de IFC pode resultar na possibilidade de uso de número reduzido de parcelas com garantia de eficiência na modelagem.

No povoamento utilizado neste estudo, apenas 10 parcelas por classe de local foram suficientes para fins de modelagem de crescimento e da produção.

## 5. REFERÊNCIAS

BRUM, E.T. **Relações entre a altura dominante e fatores de sítio em povoamentos de *Pinus elliottii* na região de Ponte Alta do Norte, SC.** 1979. 190 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G.; LELIS, V.G.S. Classificação da capacidade produtiva de *Eucalyptus camaldulensis* na região de João Pinheiro, em Minas Gerais. **Boletim Sociedade Técnico de Investigações Florestais**, n. 2, p. 1-7, 1991.

GONÇALVES, J.L.M.; COUTO, H.T.Z. do; DEMATTÊ, J.L.I. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **IPEF**, n. 43/44, p. 24-39, 1990.

MELLO, J.M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal.** 2004. 110 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2004.

NAKAJIMA, N.Y.; KIRCHNER, F.F.; SANQUETTA, C.R.; POSONSKI, M. Comparação de dois métodos de amostragem na estimativa de valores correntes em inventários florestais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1., 2000, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria, RS: UFSM, 2000. p. 399-414.

**ANEXO**

Anexo – Coeficientes dos 92 ajustes do modelo de Clutter, em sua forma mais usual, das diferentes alternativas de amostragem

57

Alternativa de Amostragem	Amostra	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$r^2$ equação 1*	$r^2$ equação 2*
	1	2,661580	ns	1,268584	-23,33686	0,063247	1,016068	0,746	0,970
	2	2,622531	ns	1,318401	-27,77320	0,090626	0,893728	0,671	0,933
	3	2,475554	ns	1,182690	-20,22130	0,070167	1,005251	0,773	0,939
	4	2,462898	ns	1,110980	-27,37851	0,099962	0,954972	0,858	0,972
	5	2,503954	ns	1,216340	-25,76559	0,091940	0,923388	0,742	0,959
	6	2,455436	ns	1,220326	-20,55573	0,050070	1,083240	0,804	0,974
	7	2,388824	ns	1,180178	-15,87113	0,041999	1,112445	0,870	0,982
	8	2,419560	ns	1,327238	-32,49141	0,089248	0,920214	0,800	0,956
	9	2,499023	ns	1,346080	-26,96098	0,075241	0,941275	0,612	0,943
	10	2,614790	ns	1,237452	-23,11549	0,072991	0,983208	0,758	0,962
	11	2,354558	ns	1,179585	-22,35667	0,071281	1,010974	0,766	0,970
	12	2,497527	ns	1,152538	-16,42287	0,049454	1,092213	0,790	0,960
	13	2,599263	ns	1,251812	-27,76417	0,086458	0,947636	0,825	0,959
	14	2,399187	ns	1,141941	-25,58124	0,088810	0,971031	0,841	0,969
5 parcelas por classe de local	15	2,250430	ns	1,109542	-12,89184	0,039604	1,134028	0,783	0,968
	16	2,389454	ns	1,168864	-23,92418	0,081282	0,985211	0,863	0,967
	17	2,213902	ns	1,213423	-22,98433	0,069760	1,007889	0,826	0,971
	18	2,380449	ns	1,227635	-27,40554	0,082943	0,970674	0,844	0,976
	19	2,490764	ns	1,151394	-23,20283	0,080821	0,991091	0,862	0,965
	20	2,289181	ns	1,154795	-20,99503	0,071260	1,020845	0,808	0,967
	21	2,535030	ns	1,250283	-26,03748	0,081491	0,964121	0,744	0,972
	22	2,371779	ns	1,133867	-21,64580	0,075946	1,014377	0,846	0,972
	23	2,209281	ns	1,156047	-22,65244	0,071358	1,026809	0,838	0,970
	24	2,527090	ns	1,142897	-10,58765	0,025493	1,165830	0,730	0,970
	25	2,561613	ns	1,382552	-29,66375	0,075867	0,936700	0,657	0,951
	26	2,361898	ns	1,128451	-27,19403	0,104736	0,917815	0,846	0,955
	27	2,601921	ns	1,229998	-24,88968	0,081639	0,960695	0,776	0,967
	28	2,492030	ns	1,276083	-29,29258	0,082332	0,959797	0,867	0,976
	29	2,247048	ns	1,145202	-19,02033	0,059608	1,062589	0,817	0,974
	30	2,283851	ns	1,098181	-22,08764	0,088278	0,982936	0,792	0,957
Média	-	2,438680	-	1,203445	-23,33568	0,073797	0,998568	0,792	0,964

Continua...

Anexo – Cont.

58

Alternativa de Amostragem	Amostra	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$r^2$ equação 1*	$r^2$ equação 2*
	1	2,382316	ns	1,190454	-24,67449	0,078240	0,991249	0,848	0,969
	2	2,448247	ns	1,166876	-19,05535	0,053274	1,086252	0,810	0,974
	3	2,460968	ns	1,166933	-19,46572	0,062348	1,041972	0,818	0,962
	4	2,528252	ns	1,261329	-23,56975	0,065920	1,006844	0,740	0,966
	5	2,434791	ns	1,207510	-21,23449	0,062101	1,038475	0,782	0,963
	6	2,335517	ns	1,118791	-18,37834	0,063888	1,053320	0,835	0,974
	7	2,482636	ns	1,204395	-21,61386	0,065096	1,027005	0,789	0,971
	8	2,436771	ns	1,236035	-23,70899	0,071426	0,997834	0,748	0,965
	9	2,287758	ns	1,168800	-20,81515	0,064672	1,039633	0,807	0,968
	10	2,388756	ns	1,204859	-27,02557	0,086682	0,960505	0,766	0,963
	11	2,570893	ns	1,189792	-20,97849	0,064663	1,032368	0,794	0,974
	12	2,500811	ns	1,228417	-25,20150	0,082573	0,957867	0,751	0,958
	13	2,501227	ns	1,196967	-21,75931	0,068895	1,013155	0,783	0,970
	14	2,415039	ns	1,167161	-18,17633	0,058587	1,051681	0,758	0,969
8 parcelas por classe de local	15	2,513817	ns	1,245407	-26,81733	0,087777	0,938464	0,769	0,966
	16	2,506756	ns	1,207743	-23,95865	0,079806	0,974234	0,800	0,971
	17	2,364503	ns	1,154752	-22,31964	0,078450	0,997468	0,826	0,967
	18	2,470842	ns	1,215415	-22,92702	0,073680	0,989462	0,759	0,959
	19	2,536456	ns	1,247948	-25,95779	0,083332	0,950528	0,777	0,965
	20	2,454755	ns	1,144257	-20,31660	0,071170	1,019292	0,853	0,970
	21	2,361677	ns	1,200301	-25,76644	0,084719	0,963050	0,785	0,970
	22	2,310746	ns	1,189575	-23,31215	0,069680	1,024220	0,832	0,975
	23	2,427851	ns	1,183903	-23,38425	0,077548	0,988427	0,789	0,961
	24	2,522826	ns	1,150358	-18,89933	0,063388	1,047614	0,810	0,973
	25	2,426719	ns	1,231688	-20,76510	0,056790	1,049102	0,772	0,976
	26	2,500876	ns	1,238541	-24,38640	0,073909	0,988495	0,764	0,966
	27	2,394770	ns	1,233127	-22,62105	0,061585	1,034810	0,777	0,974
	28	2,406003	ns	1,183321	-24,02869	0,077251	0,997687	0,835	0,972
	29	2,517993	ns	1,197678	-18,32037	0,050374	1,076656	0,745	0,972
	30	2,486439	ns	1,228643	-24,02675	0,077833	0,972902	0,764	0,964
Média	-	2,445900	-	1,198699	-22,44883	0,070522	1,010352	0,790	0,968

Continua...

Anexo – Cont.

59

Alternativa de Amostragem	Amostra	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$r^2$ equação 1*	$r^2$ equação 2*
	1	2,474457	ns	1,187423	-21,34105	0,068672	1,016909	0,803	0,969
	2	2,503816	ns	1,195833	-25,64838	0,087455	0,955741	0,790	0,964
	3	2,426771	ns	1,198332	-23,14184	0,071511	1,010555	0,769	0,966
	4	2,436259	ns	1,196917	-25,93983	0,088430	0,952157	0,779	0,960
	5	2,480163	ns	1,181745	-23,84543	0,079862	0,984531	0,807	0,970
	6	2,351658	ns	1,200904	-26,00656	0,082981	0,973698	0,779	0,966
	7	2,426653	ns	1,205081	-24,39937	0,078920	0,982833	0,764	0,964
	8	2,466929	ns	1,171073	-22,13821	0,074697	1,002294	0,797	0,966
	9	2,463941	ns	1,222545	-25,99554	0,085263	0,953351	0,769	0,959
	10	2,449010	ns	1,186858	-21,13607	0,064300	1,036952	0,783	0,973
	11	2,383789	ns	1,236865	-28,66260	0,086625	0,955679	0,791	0,969
	12	2,478184	ns	1,203750	-23,27425	0,071498	1,006955	0,783	0,968
	13	2,458095	ns	1,173270	-19,64884	0,061758	1,044398	0,781	0,969
	14	2,413989	ns	1,226599	-24,33336	0,074003	0,989070	0,780	0,961
10 parcelas por classe de local	15	2,428251	ns	1,198937	-22,00838	0,069291	1,011361	0,805	0,971
	16	2,454678	ns	1,220923	-27,70302	0,092606	0,932027	0,776	0,961
	17	2,433143	ns	1,210316	-24,47902	0,079543	0,977735	0,776	0,963
	18	2,446297	ns	1,204318	-23,56734	0,076334	0,988029	0,788	0,967
	19	2,479588	ns	1,233464	-23,75643	0,069762	1,003753	0,774	0,971
	20	2,440332	ns	1,175274	-21,72962	0,072471	1,010150	0,787	0,966
	21	2,422832	ns	1,191297	-19,63271	0,058269	1,051098	0,778	0,972
	22	2,484818	ns	1,178294	-19,61890	0,062750	1,037622	0,793	0,970
	23	2,515337	ns	1,188687	-22,55363	0,073672	1,003806	0,779	0,968
	24	2,480620	ns	1,193111	-21,99137	0,068976	1,017708	0,783	0,968
	25	2,452600	ns	1,193382	-20,75399	0,063226	1,034746	0,765	0,965
	26	2,426717	ns	1,216463	-28,10766	0,094343	0,927182	0,788	0,960
	27	2,459107	ns	1,178591	-17,33727	0,049947	1,082557	0,793	0,974
	28	2,503258	ns	1,188803	-23,91047	0,083623	0,966855	0,796	0,965
	29	2,499998	ns	1,231333	-22,49061	0,063115	1,029668	0,790	0,977
	30	2,428302	ns	1,225295	-24,16607	0,074095	0,991096	0,785	0,969
Média	-	2,452320	-	1,200523	-23,31059	0,074267	0,997684	0,784	0,967

Continua...

Anexo – Cont.

Alternativa de Amostragem	Amostra	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	r <sup>2</sup> equação 1*	r <sup>2</sup> equação 2*
Somente parcelas classe de local II	1	2,457137	ns	1,092034	-20,72717	0,073438	1,040381	0,667	0,947
Todas parcelas	1	2,40491	ns	1,217641	-24,20121	0,070890	1,006922	0,731	0,934

\*  $LnB_2 = LnB_1(I_1 I_2^{-1}) + \alpha_0(1 - I_1 I_2^{-1}) + \alpha_1(1 - I_1 I_2^{-1})S_1 + \varepsilon$  ; \*\*  $LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon$  .