

THIAGO TAGLIALEGNA SALLES

**MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CLONES DE
EUCALIPTO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

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
2010**

THIAGO TAGLIALEGNA SALLES

**MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CLONES DE
EUCALIPTO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL**

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: 25 de fevereiro de 2010.

Prof. Sílvio Nolasco de Oliveira Neto
(Coorientador)

Prof. Carlos Pedro Boechat Soares
(Coorientador)

Prof. João Carlos Chagas Campos

Prof. Haroldo Nogueira de Paiva

Prof. Helio Garcia Leite
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À minha família, que me deu todo o apoio durante esses anos de UFV.

À minha mãe Rita e ao meu pai Ari, meu maior incentivo, que assiste a mais essa conquista de outro lugar e que sempre marca presença em meu coração nos mais diversos momentos.

Ao prof. Helio, por ter sido um grande mestre pra mim, oferecendo oportunidades, incentivo, paciência, orientação e, acima de tudo, amizade ao longo dos meus estudos.

Ao prof. Carlos Pedro, pela coorientação e pelos valiosos ensinamentos em dendrometria e inventário.

Aos demais professores da banca, Silvio, João Carlos e Haroldo por todas as contribuições feitas a este trabalho.

Aos meus amigos (família) de Viçosa, principalmente os companheiros de república Pedrero, Fejons, Roger, Karlão, Brunão, Papito, Diego, Gelão e também à minha namorada Luiza.

Ao Engenheiro Florestal Fabiano Lourenço dos Santos e à Votorantim Siderurgia, por disponibilizar os dados para este trabalho.

Muito obrigado.

BIOGRAFIA

THIAGO TAGLIALEGNA SALLES, filho de Ari Jaime Salles e Rita de Cássia Taglialegna Salles, nasceu em Paraguaçu, Minas Gerais, em 29 de agosto de 1984.

Em março de 2003, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, graduando-se em janeiro de 2008.

Em março de 2008, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, na área de Manejo, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, concluindo os requisitos indispensáveis para obtenção do título de *Magister Scientiae* em fevereiro de 2010.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	7
ORIGEM DOS DADOS	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
CAPÍTULO 1	17
MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MADEIRA EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM NÍVEL DE POVOAMENTO	
1. Introdução	19
2. Objetivo	21
3. Material e métodos	22
Descrição dos dados	22
Classificação da capacidade produtiva	23
Modelagem de crescimento e produção	25
4. Resultados e discussão	28
Classificação da capacidade produtiva	28
Modelagem de crescimento e produção	31
5. Conclusões	42
6. Referências bibliográficas	43
CAPÍTULO 2	45
MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MADEIRA EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM NÍVEL DE ÁRVORE INDIVIDUAL	
1. Introdução	47
2. Objetivo	49
3. Material e métodos	50
Descrição dos dados	50
Simulação da produção futura	51
Projeção do diâmetro	52
Prognose da altura	53
Volume e área basal	54
4. Resultados e discussão	56
Projeção do diâmetro e predição da altura	56
Projeção do volume	64
5. Conclusões	68
6. Referências bibliográficas	69
CONCLUSÕES GERAIS	71
APÊNDICES	72

RESUMO

SALLES, Thiago Taglialegna, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Modelagem de crescimento e produção de clones de eucalipto em um sistema agroflorestal.** Orientador: Helio Garcia Leite. Coorientadores: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto e Carlos Pedro Boechat Soares.

Este trabalho foi realizado com dados coletados de um sistema agroflorestal (SAF) localizado na região noroeste do Estado de Minas Gerais, e teve como objetivos ajustar um modelo em nível de povoamento e um modelo em nível de árvore individual, ambos visando estimar crescimento e produção de madeira. Foram selecionados para o estudo sete materiais genéticos (clones) melhor amostrados para este fim. Para a modelagem em nível de povoamento, foi utilizado inicialmente o modelo de Clutter na forma não reduzida e que, com base na significância das estimativas de seus parâmetros, foi reduzido a uma forma específica para cada clone. O modelo de Clutter foi eficiente em estimar crescimento e produção do SAF estudado. Seu ajuste, inicialmente na forma não reduzida, com posterior redução com base na significância dos parâmetros, se mostrou melhor em representar tendências de crescimento diversificadas do que a sua forma previamente reduzida. Em termos de volume, os clones nº. 2 e 58 apresentaram melhor desempenho. Ao contrário do clone de nº. 8, que apresentou um pior desempenho. Para a modelagem em nível de árvore

individual, foi aplicado um sistema de equações composto por um modelo de projeção de diâmetro, um modelo para estimar altura, e outro modelo para estimar volume. A mortalidade não foi modelada. O sistema de equações selecionado foi eficiente em projetar o diâmetro e a produção de madeira do SAF estudado. A mortalidade pôde ser ignorada nesse processo. Para o sistema estudado, a modelagem em nível de árvore individual pode ser utilizada como alternativa à modelagem em nível de povoamento.

ABSTRACT

SALLES, Thiago Taglialegra, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2010. **Growth and yield of eucalyptus clones in an agroforestry system.** Adviser: Helio Garcia Leite. Co-Advisers: Sílvia Nolasco de Oliveira Neto and Carlos Pedro Boechat Soares.

This study was conducted with data collected from an agroforestry system located in the northwest of Minas Gerais, Brazil. The objectives of this work were to set a stand model and an individual tree model, both to estimate growth and yield of an agroforestry system. The seven best sampled cultivars for this purpose were selected for the study. For the stand modeling, the Clutter model was initially used in a non-reduced form and, based on the significance of the estimates, it was reduced to a specific form for each cultivar. The Clutter model showed to be efficient in estimating growth and yield of the studied agroforestry system and it was found that its adjusted unreduced form was better to represent growth trends than its standard reduced form. In terms of volume, the clone no. 8 presented a poor performance and clones no. 2 and 58 presented a better performance. For the individual tree modeling, an equation system, composed by a projection model for diameter, a model to estimate height and a model to estimate volume was used. Mortality was not modeled. The equation system showed to be efficient in projecting the diameter and the yield of the studied agroforestry system and mortality could be ignored in this process. For the

studied system, the individual tree modeling can be used as an alternative to stand modeling.

INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é importante no cenário sócio-econômico do país, visto que contribui com a produção de bens e serviços, agregação de valor aos produtos florestais, além de gerar empregos, divisas, tributos e renda. Esse segmento representa $\pm 6\%$ das exportações brasileiras, com uma estimativa do valor bruto de sua produção na faixa dos R\$ 50 bilhões, gerando 600 mil empregos diretos, 1,6 milhões de empregos indiretos, e ainda 2,5 milhões de empregos resultantes do efeito-renda. Em impostos, o setor recolhe anualmente $\pm R\$ 8$ bilhões (ABRAF, 2009).

Há algum tempo, algumas atividades que envolvem o uso da terra vêm causando preocupação devido ao potencial de impacto ao meio-ambiente, tanto a curto quanto a longo prazo. Na tentativa de minimizar tais impactos, melhorar a qualidade de locais com algum índice de degradação, e garantir uma produção sustentável, surgem os sistemas agroflorestais (SAF). Os SAF são sistemas de uso da terra onde espécies lenhosas perenes e culturas agrícolas e, ou, animais, são deliberadamente utilizados na mesma unidade de manejo, existindo interações econômicas entre os diferentes componentes, utilizando também alguma forma de arranjo espacial (LUNDGREN, 1982, citado por NAIR, 1993).

Em relação à natureza de seus componentes, os SAF podem ser classificados em: sistemas agrossilviculturais, que associam árvores aos cultivos agrícolas; sistemas silvipastoris, que associam pastagens e, ou, animais às árvores; e sistemas agrossilvipastoris, que combinam cultivos agrícolas, pastagem e, ou, animais na mesma área, ao mesmo tempo, ou em seqüência temporal (COMBE e BUDOWSKI, 1979; NAIR, 1990).

O SAF é um meio de uso da terra onde a integração da floresta com culturas agrícolas e a pecuária, oferece uma alternativa quanto aos problemas de baixa produtividade, de escassez de alimentos e da degradação ambiental generalizada. Isso os torna interessantes para pequenos e grandes produtores. Para os pequenos, porque diversifica o número de produtos na propriedade, o que torna o empreendimento mais seguro, já que uma baixa no preço de determinado produto ou uma doença sobre uma espécie não comprometem toda a produção. Também pelo fato de que diferentes produtos trazem receitas em diferentes horizontes de tempo, não deixando o produtor desprovido de renda durante todo o intervalo de uma rotação do componente florestal, por exemplo. A introdução de árvores no sistema agrícola possibilita ainda a redução de custos através da menor necessidade de tratos culturais (capinas, controle fitossanitário, adubação e irrigação) e no aumento da disponibilidade de materiais para uso na propriedade como lenha, frutos, sementes e forragem.

Para empresas, o SAF é atrativo porque, além das vantagens já mencionadas, a exigência de desenvolvimento de tecnologias de produção que causem impactos negativos de menor significância vem crescendo. Isso devido à limitação dos recursos e às pressões de grupos ambientalistas que têm contribuído com o monitoramento das ações desenvolvidas.

Além das atividades produtivas, o componente arbóreo do SAF pode fornecer outros bens e serviços como quebra-ventos, cercas vivas, sombra para culturas e animais, “adubos verdes” e forragem. Além disso, favorece a estabilização do solo em topografia íngreme e ajuda no controle das condições de umidade do mesmo, proporcionando melhor manejo de bacias hidrográficas (BROOKS et al., 1991; BUDOWSKI, 1991; SANTOS, 2000).

Na região de cerrado, local de relevada importância agrícola e pecuária, e onde se encontra uma quantidade considerável dos

reflorestamentos com eucalipto do país, tem-se hoje o maior exemplo de sistemas agroflorestais com eucalipto do Brasil. Localizado no noroeste do Estado de Minas Gerais, esse SAF utiliza espaços simultâneos para produção de alimentos, fibra, e energia, através da interação entre as atividades, promovendo redução do custo de produção, maior estabilidade econômica, valorização da propriedade e desenvolvimento do setor rural (REIS, et al., 2007).

Trabalhando na mesma área do presente estudo, Dubè (1999) concluiu que o SAF em questão é mais atrativo do que a monocultura de eucalipto, com uso econômico mais eficiente da terra. Num trabalho posterior, Dubè et al. (2002) aplicaram um modelo de simulação para avaliar os aspectos técnicos e econômicos do sistema agroflorestal lá estabelecido, e viram que os custos de estabelecimento e manutenção representaram 37% dos custos totais associados ao sistema. Mais da metade da renda veio da venda dos produtos madeireiros obtidos na rotação de 11 anos. Variações de $\pm 20\%$ do preço de venda do gado afetaram significativamente as análises de sensibilidade, ficando próximas das variações do preço da madeira para madeira serrada e energia, e variações de $\pm 20\%$ no custo de estabelecimento do componente florestal afetaram significativamente os indicadores econômicos.

No tocante a outros modelos de SAF, Sousa et. al., (2007) analisaram os resultados de ensaios desenvolvidos no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental. Foram testados oito arranjos agroflorestais, em três condições de áreas de pastagens abandonadas e, ou, degradadas, variando as características químicas do solo, biomassa, e histórico de uso da pastagem. A produtividade das espécies testadas apresentou, em sua grande maioria, níveis satisfatórios. Concluiu-se que os arranjos estudados, além de resgatarem uma prática tradicional da população amazônica, demonstraram ser produtivos nas suas diversas configurações, sendo capazes de gerar renda, segurança alimentar, e prestarem importantes serviços ambientais para a região.

Para que um sistema agroflorestal resulte em sucesso econômico, é importante que práticas adequadas de manejo sejam adotadas, gerando diretrizes seguras dentro do planejamento florestal. A predição ou projeção

do crescimento e da produção de madeira junto à classificação de terras compõem dois dos três elementos essenciais do manejo florestal. Os modelos aplicados neste processo servem para atualizar dados de inventário florestal, construir tabelas de produção, prescrever tratamentos silviculturais, e estimar estoques de crescimento e de colheita (BEZERRA, 2009). Muitos estudos sobre crescimento e produção já foram conduzidos para monoculturas florestais. Entretanto, o mesmo não acontece para o caso de SAF, embora existam alguns modelos ajustados.

Oliveira (2007), utilizando dados provenientes de parcelas permanentes de inventários florestais contínuos instaladas em povoamentos de clones de eucalipto não desbastados no Estado da Bahia, desenvolveu um estudo acerca da modelagem e prognose em nível de povoamento. O autor comenta pontos importantes deste tipo de trabalho, mencionando que a modelagem do crescimento e da produção é um processo dinâmico, e que bancos de dados de parcelas permanentes devem ser atualizados e consistidos para este fim e para a classificação da capacidade produtiva. A amostragem com a finalidade de avaliar a capacidade produtiva e a modelagem do crescimento e da produção deve ser representativa, sendo melhor utilizar um número menor de parcelas, porém abrangendo toda a área em termos de classe de produtividade, em vez de um número muito grande de parcelas, sem representatividade de condições extremas e intermediárias.

Em relação à modelagem em SAF, pode-se mencionar o trabalho de Lopes (2007) que, com uma base de dados de três medições de parcelas permanentes, conduziu um estudo na mesma área do presente trabalho empregando um modelo de distribuição diamétrica adaptado a partir do proposto por Nogueira (2003), obtendo sucesso na aplicação do mesmo ao ajustá-lo para o SAF.

Outra modalidade que permite estimar o crescimento e a produção de componentes florestais é aquela em que a unidade básica de modelagem é a árvore individual. Modelos de árvore individual podem ser construídos de forma integrada, envolvendo modelagem do crescimento tanto em nível de árvore quanto de povoamento (CAMPOS e LEITE, 2009; FREIRE, 2002). Este tipo de modelo resulta em descrição mais detalhada da estrutura e

dinâmica da floresta do que os modelos em nível de povoamento (MABVURIRA e MIINA, 2002).

Os modelos desta classe podem ser dependentes ou independentes da distância. Uma das vantagens dos modelos de distância independente é que não necessitam das coordenadas espaciais das árvores, informação que geralmente não está disponível nos inventários florestais contínuos. Já os modelos dependentes da distância, que geralmente são desenvolvidos para descrever o efeito da competição sobre o crescimento de uma única árvore, normalmente requerem um par de coordenadas XY que especifica a localização da árvore dentro da área. A partir daí é calculado o índice de competição. Ele pode ser definido com base na área hipotética de sobreposição das copas de todas as árvores concorrentes em potencial e é ponderado pelo tamanho relativo dos competidores, contabilizando a disponibilidade de luz, umidade e nutrientes para a árvore. A mortalidade ocorre quando a probabilidade de sobrevivência de um indivíduo cai abaixo de um valor limiar, que depende da situação competitiva de uma árvore (PENG, 2000). Trabalhos recentes ambientados no universo da modelagem em nível de árvore individual foram desenvolvidos por Sterba et al. (2002), Phillips et al. (2003), Zhao et al. (2004), Qin e Cao (2006), Fox et al. (2007a), Fox et al. (2007b), Schröder et al. (2007) e Condés e Sterba (2008).

Apesar das vantagens em descrever mais detalhadamente a estrutura dos povoamentos, as estimativas obtidas com modelos de árvore individual algumas vezes sofrem de falta de exatidão e precisão, levando alguns gestores florestais a optarem por modelos de povoamento total (mais robustos), caso as saídas em nível de povoamento sejam a preocupação primordial (QIN e CAO, 2006).

No processo de modelagem, o manejador muitas vezes se depara com problemas como *outputs* inconsistentes, ajuste indesejado, ou má escolha de um modelo que descreva o comportamento do povoamento estudado. Pode-se citar o trabalho de Souza (2005), que utilizou um modelo para estimar a produção de clones de eucalipto, e o modelo utilizado não conseguiu expressar volumes de madeira crescentes à medida que se aumentava a capacidade produtiva do local (índice de local), resultando em volumes no local mais produtivo inferiores aos dos locais menos produtivos.

A modelagem do crescimento e da produção em sistemas agroflorestais ainda tem sido feita de maneira empírica ou com uso de relações funcionais simples que nem sempre se ajustam bem às tendências encontradas nos sistemas. Modelos utilizados em monocultivos podem não ser adequados a qualquer SAF. Além do espaçamento de plantio em sistemas agroflorestais ser, no geral, menos denso, Souza (2005) comenta que a fisiologia e o comportamento do componente florestal no SAF são alterados e diferem dos plantios convencionais, ainda mais se considerar que os tratos culturais aplicados às culturas anuais podem beneficiar as culturas perenes.

OBJETIVOS

Com material genético atualmente empregado em empresas florestais e com maior quantidade de medições do que aquelas presentes em trabalhos anteriores conduzidos na região Noroeste de Minas Gerais, este trabalho teve como objetivo geral modelar crescimento e produção de clones de eucalipto em um sistema agroflorestal.

Especificamente, o primeiro capítulo deste estudo foi conduzido com o objetivo de ajustar um modelo, em nível de povoamento, para estimar crescimento e produção de madeira do SAF. No Capítulo 2, uma segunda alternativa para estimar crescimento e produção foi buscada, selecionando-se um sistema de equações em nível de árvore individual.

ORIGEM DOS DADOS

Os dados foram provenientes de inventários florestais contínuos conduzidos em um sistema agroflorestal pertencente à unidade AÇO-FLORESTAL do grupo VOTORANTIM, no município de Paracatu, na região Noroeste do Estado de Minas Gerais. De acordo com Golfari (1975), esse município encontra-se nas coordenadas 17^o13'00" S e 46^o52'00" W.

O clima da região é do tipo Aw – tropical úmido de savana, segundo a classificação proposta por Köppen. A temperatura média máxima anual é de 29°C e a mínima de 17°C. A precipitação média anual é de 1.438 mm, concentrando-se no semestre mais quente. O período mais seco ocorre de abril a outubro, sendo o mês mais seco com precipitação inferior a 60 mm. A evaporação potencial anual atinge entre 1.000 e 1.200 mm. A altitude média é de 550 m, e o relevo varia de plano a suave-ondulado. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura argilosa (16,25% de areia, 21,50% de silte e 62,25% de argila), fase cerrado, de baixa fertilidade e alta acidez, (GOLFARI, 1975).

A vegetação é constituída por Cerrado em várias tipologias, desde campos, a cerradões e florestas ciliares subperenifólias, principalmente nas extremidades dos rios, desenvolvidas sobre solos derivados de basalto (GOLFARI, 1975).

No SAF estudado, o componente florestal foi estabelecido com clones de híbridos de eucalipto no espaçamento 10 x 4 m, visando a produção de madeira para energia e serraria. Para evitar a competição, não prejudicar as raízes das árvores, e facilitar os tratos culturais, manteve-se um espaçamento mínimo de 1m entre as linhas de plantio de eucalipto e as linhas das demais culturas. O consórcio foi feito no primeiro ano (ano 0) com cultivo de arroz (Figura 1), por conta de sua menor exigência em fertilidade.

No segundo ano (ano 1), a soja foi semeada no lugar do arroz (Figura 2), mantendo uma densidade populacional de 200.000 plantas por hectare. Todos os restos culturais da colheita da soja foram incorporados ao solo. Nesse ano, ocorreu também a primeira manutenção do povoamento de eucalipto (capinas manuais, conservação de estradas e aceiros e combate às formigas).

A partir do ano seguinte (ano 2), houve formação de pastagens de braquiária, manejadas para engorda de gado de corte. Nesse mesmo ano os eucaliptos, apresentando 6 m de altura e aproximadamente 18 meses de idade, foram desramados até a altura de 4 m do solo e no máximo 50% de copa viva. No ano 3, 90 dias após a implantação das pastagens, iniciou-se o período de utilização para engorda de bois (Figura 3). Houve novamente a manutenção de povoamentos de eucalipto, uma segunda desrama foi feita até 6 m de altura, e houve o estabelecimento de cercas vivas e instalação de aguadas para os animais. No ano 4 ocorreu apenas a manutenção do componente florestal e, a partir do ano 5, teve-se o estabelecimento do sistema silvipastoril com uma periodicidade bianual de vendas de bois gordos (DUBÈ, 1999; LOPES, 2007; SOUZA, 2005; TSUKAMOTO FILHO, 2003).

O fluxograma (Figura 4) ilustra as disposições espacial e temporal das culturas que compõem o sistema agroflorestal estudado.



Figura 1 – Vista parcial de talhão da área estudada, apresentando consórcio de eucalipto e arroz (Foto: Arquivo VMZ).



Figura 2 – Vista parcial de talhão da área estudada, apresentando consórcio de eucalipto e soja. (Foto: Arquivo VMZ).



Figura 3 – Vista parcial de talhão da área estudada, apresentando consórcio de eucalipto, braquiária e gado. (Foto: Arquivo VMZ).

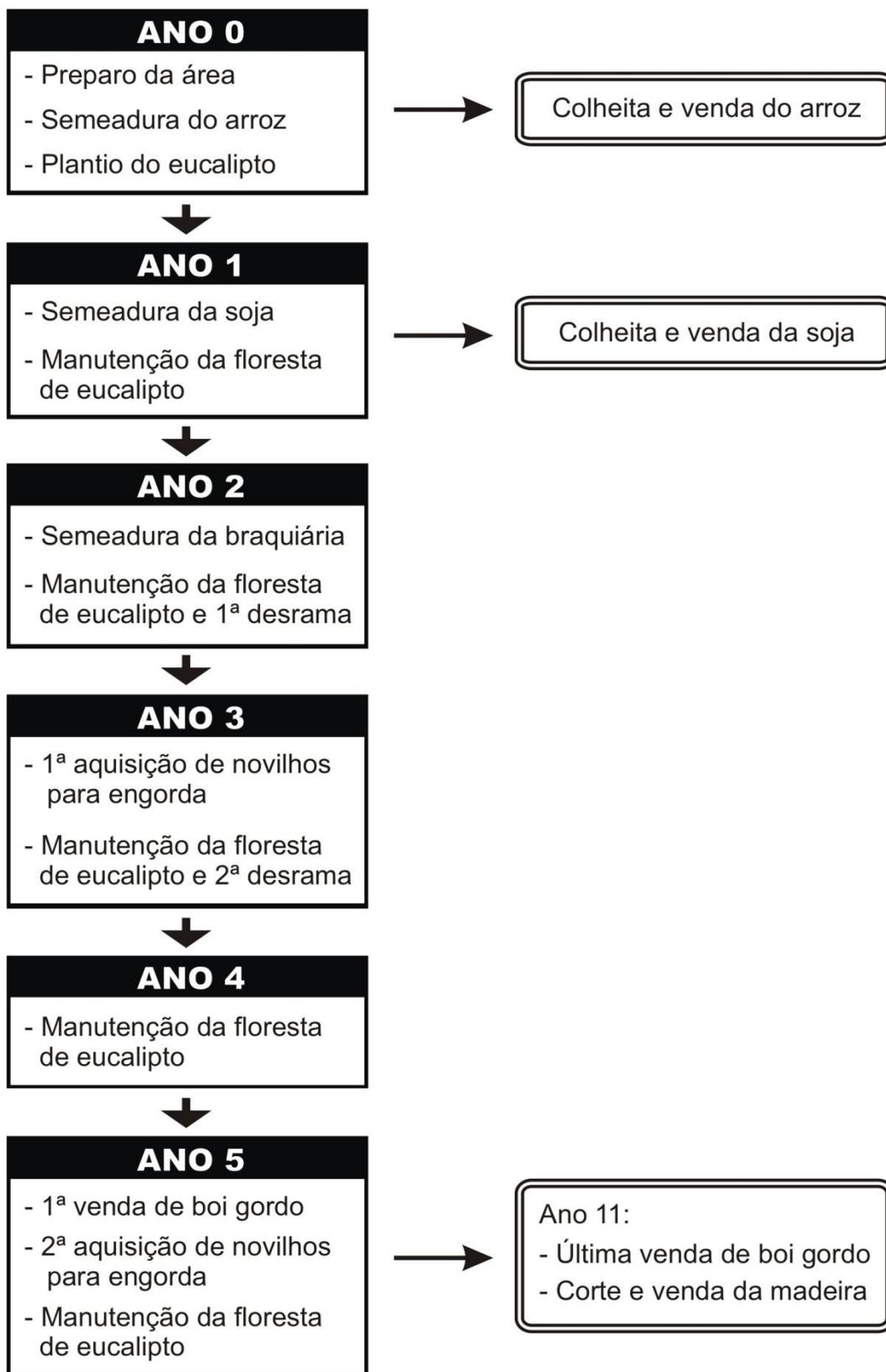


Figura 4 – Fluxograma das principais operações realizadas no SAF (adaptado de DUBÊ, 1999).

O presente estudo teve os dados originados de parcelas permanentes de 30 x 40 m (1.200 m²), contendo três fileiras de 10 árvores, que foram implantadas atendendo aos critérios de inventário florestal contínuo por amostragem casual estratificada, com uma intensidade de 1:10 (uma parcela para cada 10 ha). Não foram lançadas parcelas em talhões com área inferior a 15 ha. Um total de 650 parcelas permanentes foi mensurado em até cinco ocasiões (2004, 2005, 2006, 2007 e 2008), e foram utilizadas neste trabalho aquelas em que se encontravam os clones selecionados para a modelagem nos dois capítulos desenvolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2008**. Brasília, 2009. 120 p.

BEZERRA, A. F. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2009. 60f. il. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BROOKS, K. N.; FFOLLIOTT, P. F.; GREGERSEN, H. M.; THAMES, J. L. **Hydrology and the management of watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991. 392p.

BUDOWSKI, G. Aplicabilidad de los sistemas agroforestais. In: SEMINÁRIO SOBRE PLANEJAMENTO DE PROJETOS AUTO-SUSTENTÁVEIS DE LENHA PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE, Turrialba, 1991. **Anais**. Turrialba: FAO, 1991. v. 1, p. 161-167.

CAMPOS, J. C. C. e LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 548 p.

COMBE, J. e BUDOWSKI, G. Clasificación de las técnicas agroforestales; una revision de literatura. In: TALLER SISTEMAS AGROFORESTALES EM AMERICA LATINA, Turrialba, 1979. **Actas**. Turrialba, CATIE, p. 17-48. 1979.

CONDÉS, S. e STERBA, U. Comparing an individual tree growth model for *Pinus halepensis* Mill. in the Spanish region of Murcia with yield tables gained from the same area. **European Journal of Forest Research**. v. 127, n. 3, p. 253-261, 2008.

DUBÈ, F. **Estudos técnicos e econômicos de sistemas agroforestais com *Eucalyptus sp.* no nordeste do estado de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais**. 1999. 146f. il. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DUBÈ, F.; COUTO, L.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; GARCIA, R.; ARAÚJO, G. A. A simulation model for evaluating technical and economic aspects of an industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 55, n. 3, p.73-80. 2002.

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

FOX, J. C.; BI, H.; ADES, P. K. Spatial dependence and individual-tree growth models II. Modeling spatial dependence. **Forest Ecology and Management**. v. 245, n. 1, p. 20-30, 2007b.

FREIRE, J. P. A. **Modelação do crescimento da árvore individual independente da distância para a *Pinus pinaster* Aiton. em Portugal**. 2002. 115 f. Dissertação (Mestrado em Silvicultura de Espécies de Crescimento Rápido) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF, CPFRC, 1975. 65 p. (Série Técnica, 3).

LOPES, P. F. **Modelo de distribuição de diâmetros para clones de eucalipto em sistema agroflorestal**. 2007. 32 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MABVURIRA, B. e MIINA, J. Individual-tree growth and mortality models for *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden plantations in Zimbabwe. **Forest Ecology and Management**. v. 161, n. 1, p 231-245, 2002.

MACEDO, R. L. G.; VENTURIM, N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, p. 93-98, 2000.

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. In: MacDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. (Eds.), **Agroforestry: classification and management**. New York: Willey Intercience, 1990, 382p. p 31-57.

NOGUEIRA, G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2003. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, M. L. R. de. **Mensuração e modelagem do crescimento e da produção de povoamentos não-desbastados de clones de eucalipto**. 2007. 103f. il. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PENG, C. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. **Forest Ecology and Management**. v. 132, n. 2, p 259-279, 2000.

PHILLIPS, P. D.; BRASH, T. E.; YASMAN, I.; SUBAGYO, P.; GARDINGEN, P. R. van. An individual-based spatially explicit tree growth model for forests in East Kalimantan (Indonesian Borneo). **Ecological Modelling**. v. 159, p. 1-26, 2003.

QIN, J. e CAO, Q. V. Using disaggregation to link individual-tree and whole-stand growth models. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 36, n. 4, p. 953-960, 2006.

REIS, H. A.; MAGALHÃES, L. L. de; OFUGI, C.; MELIDO, R. C. N. Agrossilvicultura no Cerrado, região noroeste do Estado de Minas Gerais. In: FERNANDES, E. N. et al. (Eds.). **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007. Cap. 5, p. 137-154.

SANTOS, M. J. C. dos. **Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia Ocidental**. 2000. 75 p. Mestrado e Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SCHRÖDER, J.; RÖHLE, H.; GEROLD, D.; MÜNDEK, K. Modeling individual-tree growth in stands under forest conversion in East Germany. **European Journal of Forest Research**. v. 126, n. 4, p. 459-472, 2007.

SOUSA, S. G. A. de; WANDELLI, E. V.; PERIN, R.; COSTA, J. R.; USECHE, F. L. Sistemas agroflorestais no contexto do processo da transição agroecológica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1394-1397, 2007.

SOUZA, A. N.; **Crescimento, produção e análise econômica de povoamentos de *Eucalyptus sp.* em sistemas agroflorestais**. 2005. 203 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

STERBA, H.; BLAB, A.; KATZENSTEINER, K. Adapting an individual tree growth model for Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in pure and mixed species stands. **Forest Ecology and Management**. v. 159, n. 1, p. 101-110, 2002.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Fixação do carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do Cerrado em Minas Gerais**. 2003. 98f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ZHAO, D.; BORDERS, B.; WILSON, M. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. **Forest Ecology and Management**. v. 199, p. 307-322, 2004.

CAPÍTULO 1

MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MADEIRA EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM NÍVEL DE POVOAMENTO

Resumo – Este trabalho foi realizado com dados coletados de um sistema agroflorestal (SAF) localizado na região Noroeste do Estado de Minas Gerais, e teve como objetivo ajustar um modelo, em nível de povoamento, visando estimar crescimento e produção de madeira. Foram selecionados para o estudo sete clones de eucalipto. Para a modelagem foi utilizado o modelo de Clutter na forma não reduzida, e com base na significância das estimativas, este foi reduzido a uma forma específica para cada clone. O modelo de Clutter foi eficiente em estimar crescimento e produção de madeira do SAF estudado. Seu ajuste na forma não reduzida com posterior redução se mostrou melhor em representar tendências de crescimento diversificadas do que a sua forma inicialmente reduzida. Em termos de volume, os clones de nº. 2 e 58 apresentaram os melhores desempenhos, enquanto o clone nº. 8 apresentou pior desempenho.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais, crescimento e produção, modelo de Clutter.

Abstract – This study was conducted with data collected from an agroforestry system located in the Northwest of Minas Gerais, Brazil. The objective of this work was to set a stand model to estimate wood growth and yield in an agroforestry system. The seven best sampled cultivars for this purpose were selected for the study. For the stand modeling, the Clutter model was initially used in a non-reduced form and, based on the significance of the estimates, it was reduced to a specific form for each cultivar. The Clutter model showed to be efficient in estimating growth and yield of the studied agroforestry system and it was found that its adjusted unreduced form was better to represent growth trends than its standard reduced form. In terms of volume, the clone number 8 presented a poor performance and clones numbers 2 and 58 presented a better performance.

Key words: Agroforestry systems, Growth and yield, Clutter model.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de modelos de crescimento e produção é fundamental para a elaboração de modelos de suporte a decisões em projetos de sistemas agroflorestais (SAF) (ELLIS et al., 2004; GRAVES et al., 2005),

O termo modelagem é utilizado para se referir a estudos e aplicações típicos da mensuração florestal, estando relacionado com a estimação da produção dos povoamentos florestais (DIAS, 2000). Os modelos mais usuais são aqueles em nível de povoamento, e estimam o crescimento, e ou, a produção, fazendo uso de variáveis como idade, área basal e índice de local. Estes fornecem informações sobre condições de recursos futuros, sendo utilizados nas tomadas de decisão dentro do manejo florestal (AVERY e BURKHART, 1994; CAMPOS e LEITE, 2009).

O ajuste destes modelos pode ser feito utilizando-se dados de parcelas permanentes, parcelas temporárias, experimentos ou análise de tronco. Parcelas permanentes podem vir de inventário florestal contínuo, mas preferencialmente devem ser parcelas específicas para estudo de crescimento e produção, onde a amostragem é seletiva. Os locais (sites) devem ser igualmente representados. Assim, a tendência do comportamento dos dados observados é mais consistente. Para eucalipto, a forma das

parcelas deve, preferencialmente, ser retangular e do maior tamanho possível.

Segundo Campos e Leite (2009), o modelo de Clutter está entre as principais relações funcionais utilizadas em estudos de crescimento e produção em nível de povoamento.

Em seu trabalho, Clutter (1963) observou as dificuldades decorrentes de tentativas de usar tabelas de produção existentes para fins de projeção de crescimento, identificando também a falta de conexão lógica entre funções de crescimento obtidas.

Clutter (1963) utilizou em seu estudo dados de 102 parcelas estabelecidas em povoamentos de *Pinus taeda*. Foi feita uma redução do modelo de produção em volume com base nas estatísticas de um ajuste. O modelo na sua forma não-reduzida possui como componentes extras (em relação à sua forma reduzida), termos que captam a interação entre suas variáveis duas a duas. Isso o torna mais flexível quando utilizado em um ajuste para uma massa de dados com poucas observações ou com grande variabilidade em suas tendências.

2. OBJETIVO

Com material genético atualmente empregado em empresas florestais, e com maior quantidade de medições do que aquelas presentes em trabalhos anteriores realizados na mesma região, este estudo foi conduzido com o objetivo de ajustar um modelo em nível de povoamento consistente e eficiente para estimar crescimento e produção de madeira em SAF.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Descrição dos dados

De um total de 38 clones presentes nos povoamentos, 7 foram selecionados para o estudo de modelagem. Com idades entre 20 e 95 meses, número médio de árvores por hectare igual a 242 e apresentando as características descritas nas Tabelas 1 e 2.

Em todas as parcelas mensuradas, e em todos os anos, foram determinados: a altura total das árvores dominantes, a área basal (B) e o volume comercial (diâmetro mínimo igual a 4 cm) com casca (V). A área basal e o volume foram extrapolados para hectare. Os dados foram submetidos à consistência, eliminando-se *outliers* e parcelas que possuísem menos do que três medições.

Tabela 1 – Amplitude e valores médios, em nível de parcela, de idade, altura (H) e diâmetro à altura do peito (DAP) dos sete materiais genéticos escolhidos para estudo no SAF.

Clone nº	Idade (mês)		H (m)			DAP (cm)		
	Mínima	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
2	31,07	82,29	6,86	22,31	30,70	6,10	19,54	27,60
8	20,61	70,59	5,65	19,34	29,50	6,00	17,59	33,00
13	31,20	82,29	8,60	21,46	32,10	6,33	18,25	27,90
36	20,61	86,01	6,30	22,25	33,40	6,91	18,17	25,90
44	20,42	82,29	5,25	20,91	33,10	6,05	18,96	30,10
58	20,42	94,26	2,20	20,03	37,90	4,50	19,79	35,90
62	29,23	94,29	8,48	23,50	34,60	6,43	20,66	32,10
Geral	20,42	94,29	2,20	20,65	37,90	4,50	19,43	35,90

Tabela 2 – Amplitude e valores médios, em nível de parcela, de área basal (B), volume com casca (V) e número de parcelas modeladas por clone dos sete materiais genéticos escolhidos para estudo no SAF.

Clone nº	B (m ² ha ⁻¹)			V (m ³ ha ⁻¹)			Número de parcelas
	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo	
2	3,79	7,89	12,49	20,75	85,01	169,71	4
8	2,23	6,00	9,32	10,03	52,58	101,02	28
13	2,92	6,78	10,71	16,74	72,84	150,94	4
36	2,32	6,85	10,92	9,24	72,55	149,09	15
44	1,10	7,07	12,26	3,43	69,96	175,07	13
58	1,62	8,13	15,65	6,06	73,15	191,10	93
62	2,82	8,75	14,28	14,84	90,97	195,62	23
Geral	1,10	7,77	15,65	3,43	72,94	195,62	180

Classificação da capacidade produtiva

Para determinação da capacidade produtiva dos locais, foi utilizado o método da curva-guia (Clutter et al., 1983).

Primeiramente, foram ajustados os modelos Logístico e Gompertz para cada clone, visando estimar altura dominante. A escolha entre eles foi feita com base no coeficiente de determinação ($r_{\hat{y}y}$), no erro padrão residual ($S_{y,x}$) das estimativas, e na análise dos comportamentos gráficos das curvas ajustadas. As relações funcionais testadas foram:

$$Hd = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I}} + \varepsilon$$

e

$$Hd = \beta_0 e^{\left(-e^{\beta_1 - \beta_2 I}\right)} + \varepsilon$$

em que:

Hd = altura dominante na idade i , em metros;

I = idade dos povoamentos, em meses;

β_0, β_1 e β_2 = parâmetros dos modelos; e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim N(0, \sigma_2)$.

Seguindo os procedimentos detalhados por Campos e Leite (2009), para uma idade índice igual a 72 meses, as equações transformadas para estimar índice de local em função da altura dominante foram:

$$S = Hd \frac{1 + \beta_1 e^{-\beta_2(I)}}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2(72)}} + \varepsilon \quad (\text{Modelo Logístico})$$

e

$$S = Hd \frac{e^{-e^{\beta_1 - \beta_2(72)}}}{e^{-e^{\beta_1 - \beta_2(I)}}} + \varepsilon \quad (\text{Modelo de Gompertz})$$

em que:

Hd = altura dominante, em metros;

S = índice de local;

I = idade dos povoamentos, em meses;

β_1 e β_2 = parâmetros dos modelos; e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim N(0, \sigma_2)$.

Para avaliar a eficiência das equações ajustadas, foram construídas curvas de altura dominante versus idade, em função de diferentes valores de S . Tais curvas foram feitas isolando-se Hd na equação de índice de local e definindo-se valores de S pertinentes à sua amplitude encontrada no estrato modelado.

Modelagem de crescimento e produção

Para a projeção do crescimento e da produção, escolheu-se o modelo de Clutter (1963) com sua equação de volume futuro na forma não-reduzida (incluindo as interações entre as variáveis), assim definido:

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1 + \varepsilon_i$$

$$\ln V_2 = \beta_0 + \frac{\beta_1}{I_2} + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln B_2 + \beta_4 \left(\frac{S_1}{I_2} \right) + \beta_5 (S_1 \ln B_2) + \beta_6 \left(\frac{\ln B_2}{I_2} \right) + \varepsilon_i$$

em que:

- I_1 = idade atual, em meses;
- I_2 = idade futura, em meses;
- B_1 = área basal na idade I_1 , em m^2ha^{-1} ;
- B_2 = área basal na idade I_2 , em m^2ha^{-1} ;
- S_1 = índice de local, em m;
- V_2 = volume futuro na idade I_2 em m^3ha^{-1} ;
- \ln = logaritmo neperiano;
- β_i e α_i = parâmetros do modelo; e
- ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, s^2)$.

Por se tratar de um sistema de equações simultâneas, a estimação dos seus parâmetros foi feita pelo método de mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E). O MQ2E consiste em duas aplicações sucessivas do método dos mínimos quadrados ordinários (MQO). No primeiro estágio,

estimam-se os parâmetros da equação reduzida, formada pela variável endógena em função das demais variáveis exógenas no sistema. No segundo estágio, utilizam-se os valores estimados (ao invés dos observados) da variável endógena obtidos no primeiro, para mediante substituição no modelo original, estimar as equações estruturais (FILGUEIRAS e CARVALHO, 2004; GUJARATI, 2004).

A fim de obter uma forma funcional específica para estimar crescimento e produção para cada um dos clones, as equações foram então reduzidas de acordo com o sinal esperado dos parâmetros, e de suas significâncias obtidas nos ajustes do modelo. O sinal esperado para os coeficientes β_1 e β_4 foi negativo, e para os demais coeficientes, positivo. Neste processo foi buscada a construção de modelos volumétricos consistentes, sempre mantendo presentes em sua forma final as variáveis: área basal futura (B_2), índice de local (S_1) e idade futura (I_2) nas suas formas isoladas ou suas interações.

Debertain (1974) comenta que para o MQ2E, os testes convencionais “ F ” e “ t ” não são testes estatísticos estritamente aplicáveis, e o coeficiente de determinação ($r_{\hat{y}y}$) deve ser visto com cautela. O procedimento para avaliar a significância dos parâmetros utilizado neste estudo é o indicado por Cartaxo et al. (2004), onde se verifica a hipótese de o valor absoluto de cada parâmetro ser maior que o dobro do seu respectivo erro padrão. Em caso afirmativo, a sua estimativa é confiável a 5 % de probabilidade.

Esse método tem base na estatística t de Student que é dada pela razão entre o valor estimado do parâmetro e o seu erro padrão. Como o t tabelado a 5 % de probabilidade tende a valores próximos, mas sempre menores que 2,0 para um número muito grande de observações, um parâmetro sempre será significativo quando for maior do que o dobro de seu erro padrão.

Para avaliar o desempenho dos modelos ajustados em projetar volume e área basal, foram calculadas as medidas de exatidão: raiz quadrada do erro médio ($RQEM$) e erro médio percentual de predição ($bias\%$), definidos respectivamente pelas expressões:

$$RQEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-1}}$$

$$bias\% = 100 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Y_i - \hat{Y}_i / Y_i)]$$

em que:

Y_i e \hat{Y}_i = valores observado e estimado da variável sob análise e
 n = número de casos.

Foram então geradas tabelas e curvas de produção, e gráficos de dispersão de resíduos e de tendenciosidade dos dados ajustados, os quais também foram analisados para avaliar a eficiência dos modelos.

Para as tabelas de produção, a área basal inicial (aos 24 meses) foi definida através de análise gráfica das tendências observadas para esta variável em idade próxima a 24 meses.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificação da capacidade produtiva

Com base no coeficiente de determinação ($r_{\hat{y}y}$), e no erro padrão residual (S_{xy}), a função Logística se ajustou melhor aos clones 8, 13 e 62, enquanto o modelo de Gompertz obteve melhor desempenho ao estimar Hd dos clones 2, 36, 44 e 58. As equações e seus coeficientes ajustados para estimar os índices de local para cada clone são apresentados na Tabela 3.

Os resultados de todos os ajustes geraram coeficientes de determinação ($r_{\hat{y}y}$) maiores que 90 % e, com base na Figura 5, onde se vê as curvas de altura dominante geradas com a aplicação dos modelos ajustados, considerou-se satisfatório o seu desempenho em estimar Hd e S .

A amplitude dos valores de S estimados para cada clone variou em torno de 20-30, 25-30 e 25-35. Devido a essa variação relativamente pequena, as alturas foram identificadas por índices de local em lugar de classes de local.

Tabela 3 – Modelos atribuídos a cada clone para determinação de índice de local e seus respectivos coeficientes estimados.

Modelo	Clone	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$
<i>Gompertz</i>	2	29,89300	1,19433	0,05170
$Hd_i = \beta_0 e^{\left(-e^{\beta_1 - \beta_2 I_i}\right)} + \varepsilon_i$	36	33,95678	1,10516	0,04546
$S_i = Hd_i \frac{e^{-e^{\beta_1 - \beta_2 (72)}}}{e^{-e^{\beta_1 - \beta_2 (I_i)}}} + \varepsilon_i$	44	40,09134	0,83154	0,02700
	58	33,34864	0,87728	0,03664
<i>Logístico</i>	8	26,84907	9,55447	0,08642
$Hd_i = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I_i}} + \varepsilon_i$	13	30,13399	10,65674	0,07027
$S_i = Hd_i \frac{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 (I_i)}}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 (72)}} + \varepsilon_i$	62	33,63743	4,71980	0,04856

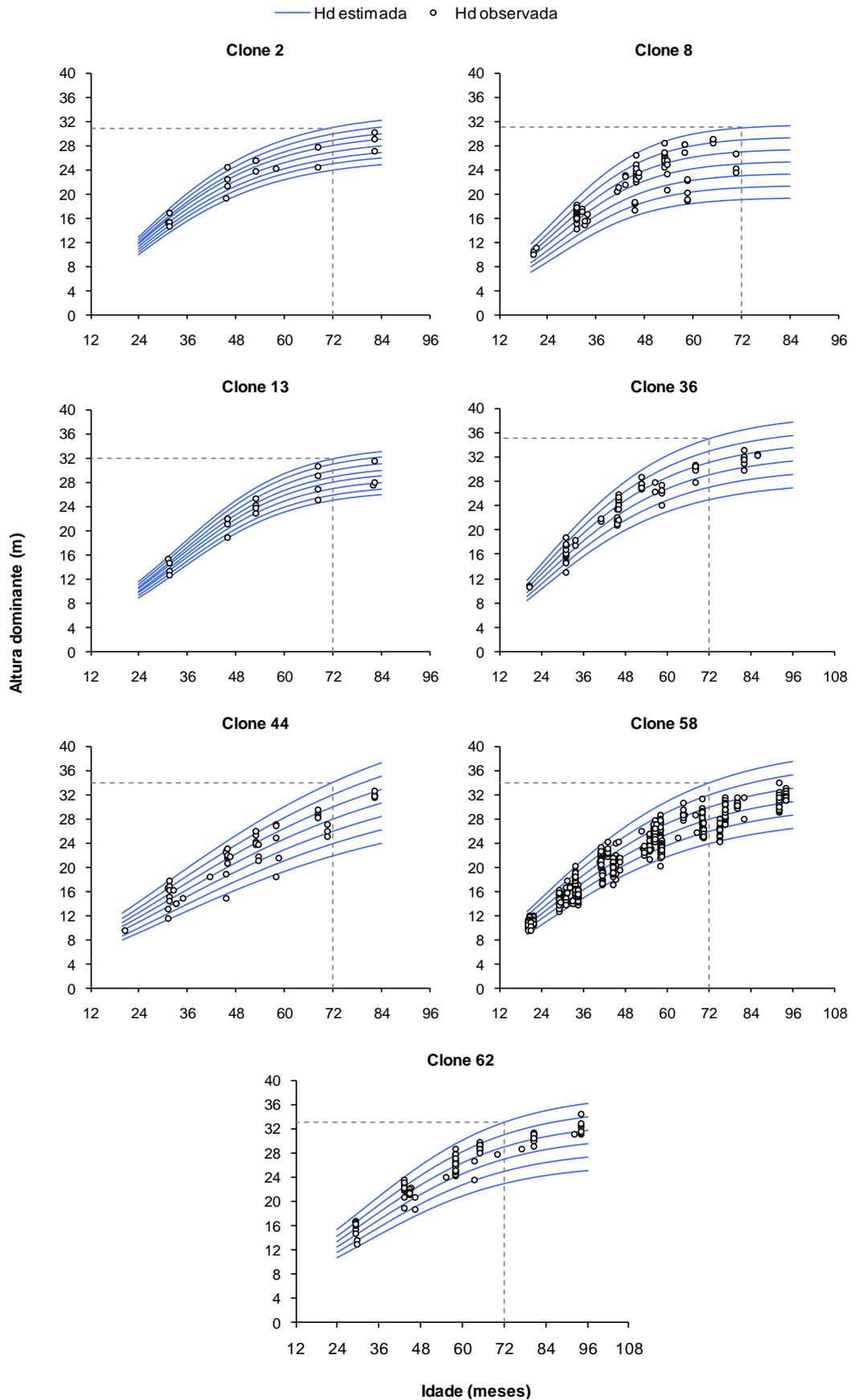


Figura 5 – Curvas de altura dominante ao longo da idade para diferentes índices de local, para os sete clones estudados.

Modelagem de crescimento e produção

Houve ajuste satisfatório a todos os materiais genéticos modelados e os coeficientes estimados podem ser vistos na Tabela 4. Todas as estimativas foram significativas pelo teste t ($p < 0.01$). Como essa estatística não é 100% confiável quando se trata de mínimos quadrados em dois estágios (DEBERTIN, 1974), o valor de referência para determinar a significância foi o erro padrão das estimativas dos parâmetros. As estimativas dos parâmetros que tiveram seus valores absolutos maiores do que o dobro de seu respectivo erro padrão, foram consideradas significativas e originaram as equações de projeção.

Os ajustes para cada clone (Tabela 5) resultaram em relações funcionais diferentes, demonstrando que o modelo de Clutter em sua forma completa é mais flexível, e que as interações entre as variáveis nele presentes nem sempre são não significativas. Caso fosse aplicada diretamente a sua forma reduzida, haveria ajuste do modelo apenas aos clones 44 e 58.

Como sugerido por Sheiner e Beal (1981), não se utilizou $r_{\hat{y}y}$ para avaliar a exatidão das equações e sim o *bias%* e a raiz quadrada do erro médio (*RQEM*). Medido em porcentagem, o *bias%* computado para as equações se mostrou satisfatório, ficando abaixo de 2 % em todos os casos. A *RQEM* representa o desvio médio das estimativas, e deve ser comparada com o valor absoluto da variável estimada. A média de área basal do povoamento se encontra próxima de $8,0 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, e o maior valor de *RQEM* para essa variável foi de 0,64 para o clone 8. Para volume, a média é próxima de $73,0 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ e o *RQEM* máximo foi de 10,2 para o clone 44, mostrando que para essa medida de exatidão, os resultados também foram satisfatórios.

Tabela 4 – Coeficientes estimados para os modelos atribuídos a cada clone para projeção de volume e área basal e medidas de seus erros padrão.

Clone		Coeficientes	Erro padrão
2	$\hat{\alpha}_0$	2,99675	0,057
	$\hat{\beta}_0$	4,11828	0,359
	$\hat{\beta}_1$	-50,72825	8,417
	$\hat{\beta}_5$	0,02203	0,004
8	$\hat{\alpha}_1$	0,10132	0,002
	$\hat{\beta}_0$	3,28414	0,205
	$\hat{\beta}_1$	-138,15768	10,837
	$\hat{\beta}_2$	0,03532	0,006
	$\hat{\beta}_6$	70,66470	10,204
13	$\hat{\alpha}_0$	2,80974	0,055
	$\hat{\beta}_0$	0,02892	0,002
	$\hat{\beta}_4$	-2,78908	0,462
	$\hat{\beta}_5$	2,97053	0,138
	$\hat{\beta}_6$	33,90143	10,498
36	$\hat{\alpha}_0$	2,82037	0,044
	$\hat{\beta}_0$	4,31141	0,203
	$\hat{\beta}_1$	-60,57303	4,061
	$\hat{\beta}_5$	0,01913	0,002
44	$\hat{\alpha}_0$	1,94962	0,406
	$\hat{\alpha}_1$	0,03548	0,014
	$\hat{\beta}_0$	2,82397	0,425
	$\hat{\beta}_1$	-72,78284	10,739
	$\hat{\beta}_2$	0,04845	0,008
	$\hat{\beta}_3$	0,68214	0,155
58	$\hat{\alpha}_0$	2,31799	0,148
	$\hat{\alpha}_1$	0,02202	0,005
	$\hat{\beta}_0$	1,72047	0,119
	$\hat{\beta}_1$	-22,46774	2,222
	$\hat{\beta}_2$	0,01027	0,002
	$\hat{\beta}_3$	1,27575	0,052
62	$\hat{\alpha}_0$	2,99267	0,031
	$\hat{\beta}_0$	3,11240	0,148
	$\hat{\beta}_4$	-2,75009	0,267
	$\hat{\beta}_5$	0,02841	0,001
	$\hat{\beta}_6$	25,19531	6,100

Tabela 5 – Modelos atribuídos a cada clone para projeção de volume e área basal e medidas de exatidão erro médio percentual de predição (*bias%*) e raiz quadrada do erro médio (*RQEM*) de cada um deles.

Clone	Equações	<i>bias%</i>	<i>RQEM</i>
2	$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$	0,2913	0,4358
	$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 / I_2 + \beta_5 (S_1 \ln B_2)$	-0,0352	7,6623
8	$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$	1,3203	0,6438
	$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 / I_2 + \beta_2 S_1 + \beta_6 \left(\ln B_2 / I_2 \right)$	0,7793	8,6134
13	$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$	0,4418	0,3733
	$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_4 \left(\frac{S_1}{I_2} \right) + \beta_5 (S_1 \ln B_2) + \beta_6 \left(\ln B_2 / I_2 \right)$	0,6889	5,9698
36	$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$	0,2170	0,4878
	$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 / I_2 + \beta_5 (S_1 \ln B_2)$	-0,1199	6,2967
44	$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1$	0,7922	0,4699
	$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 / I_2 + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln B_2$	-0,0923	10,2547
58	$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1$	0,3994	0,4856
	$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 / I_2 + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln B_2$	0,2599	6,9608
62	$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$	0,6304	0,5670
	$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_4 \left(\frac{S_1}{I_2} \right) + \beta_5 (S_1 \ln B_2) + \beta_6 \left(\ln B_2 / I_2 \right)$	0,7148	7,2688

Para melhor interpretar a dispersão dos valores observados de área basal e volume em relação às suas estimativas, foram gerados gráficos relacionando essas variáveis, por clone, de acordo com três classes de produtividade, definidas empiricamente por classes I, II e III (Figuras 6 e 7).

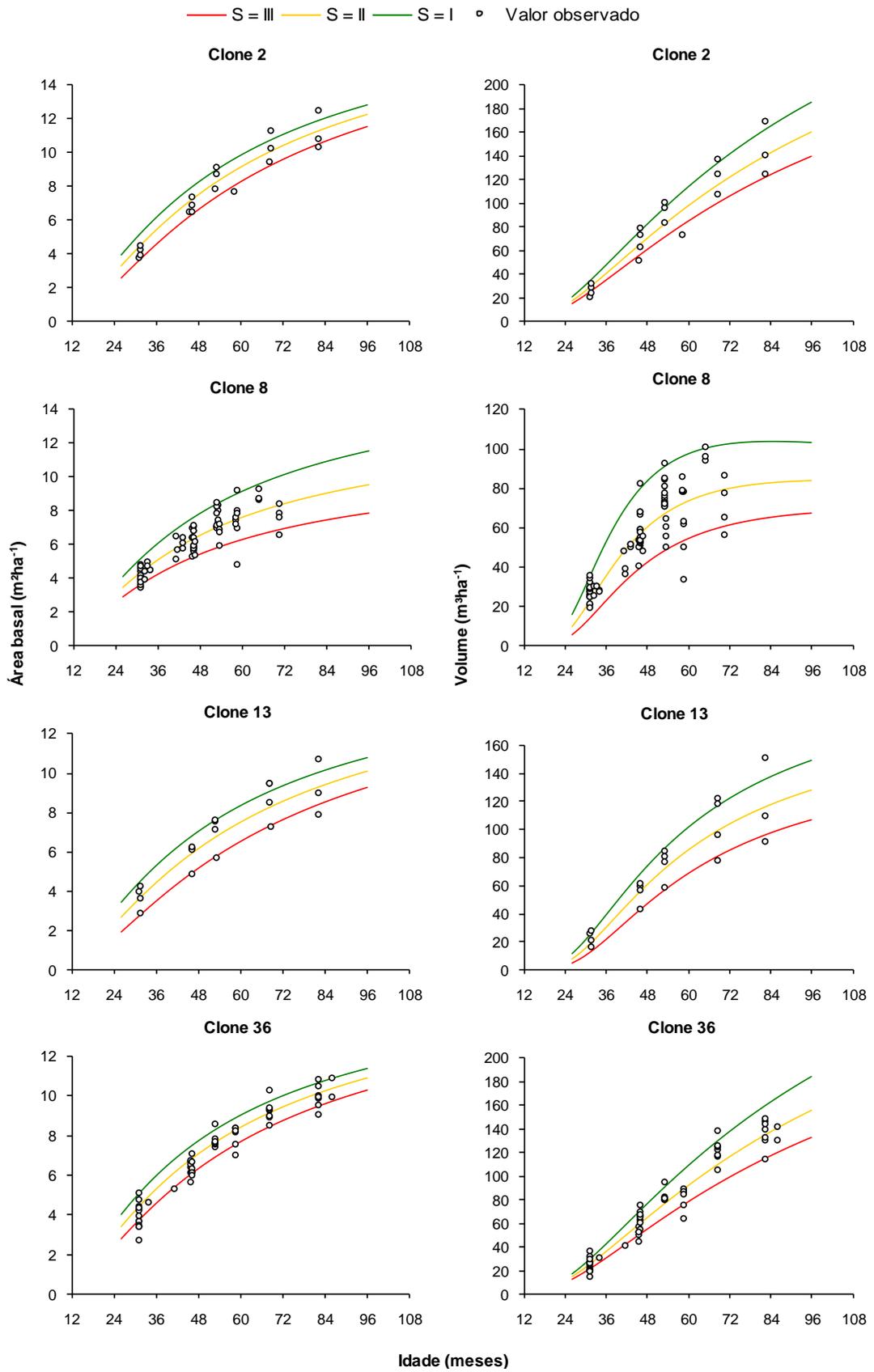


Figura 6 – Área basal e volume estimados para S baixo (III), médio (II) e alto (I) e valores observados para os clones 2, 8, 13 e 36.

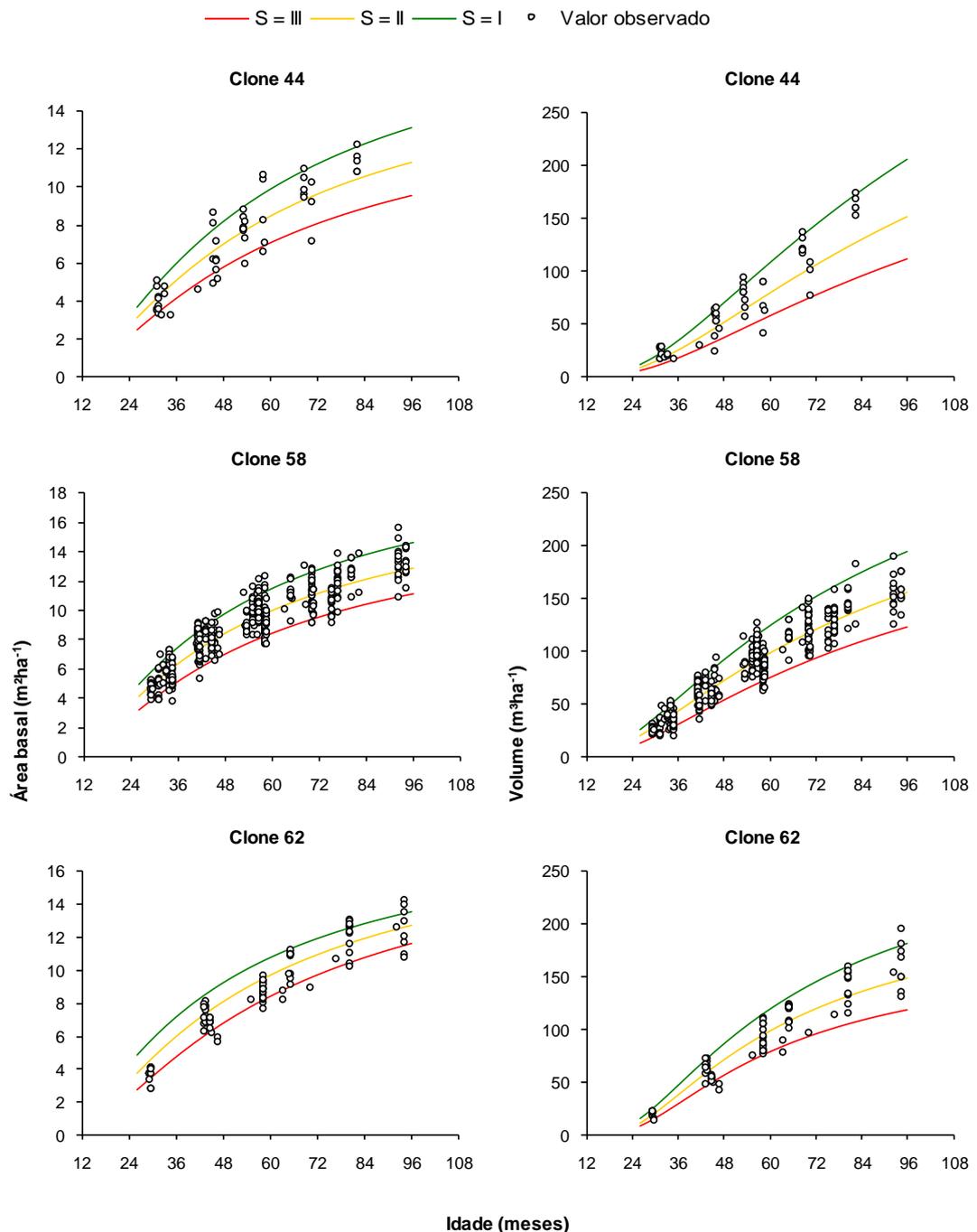


Figura 7 – Área basal e volume estimados para S baixo (III), médio (II) e alto (I) e valores observados para os clones 44, 58 e 62.

Ainda com o propósito de melhor interpretar o comportamento das estimativas, foram também gerados gráficos onde, num sistema de coordenadas, foram plotados os valores estimados contra os observados, ao longo de uma linha partindo da origem e formando um ângulo de 45° .

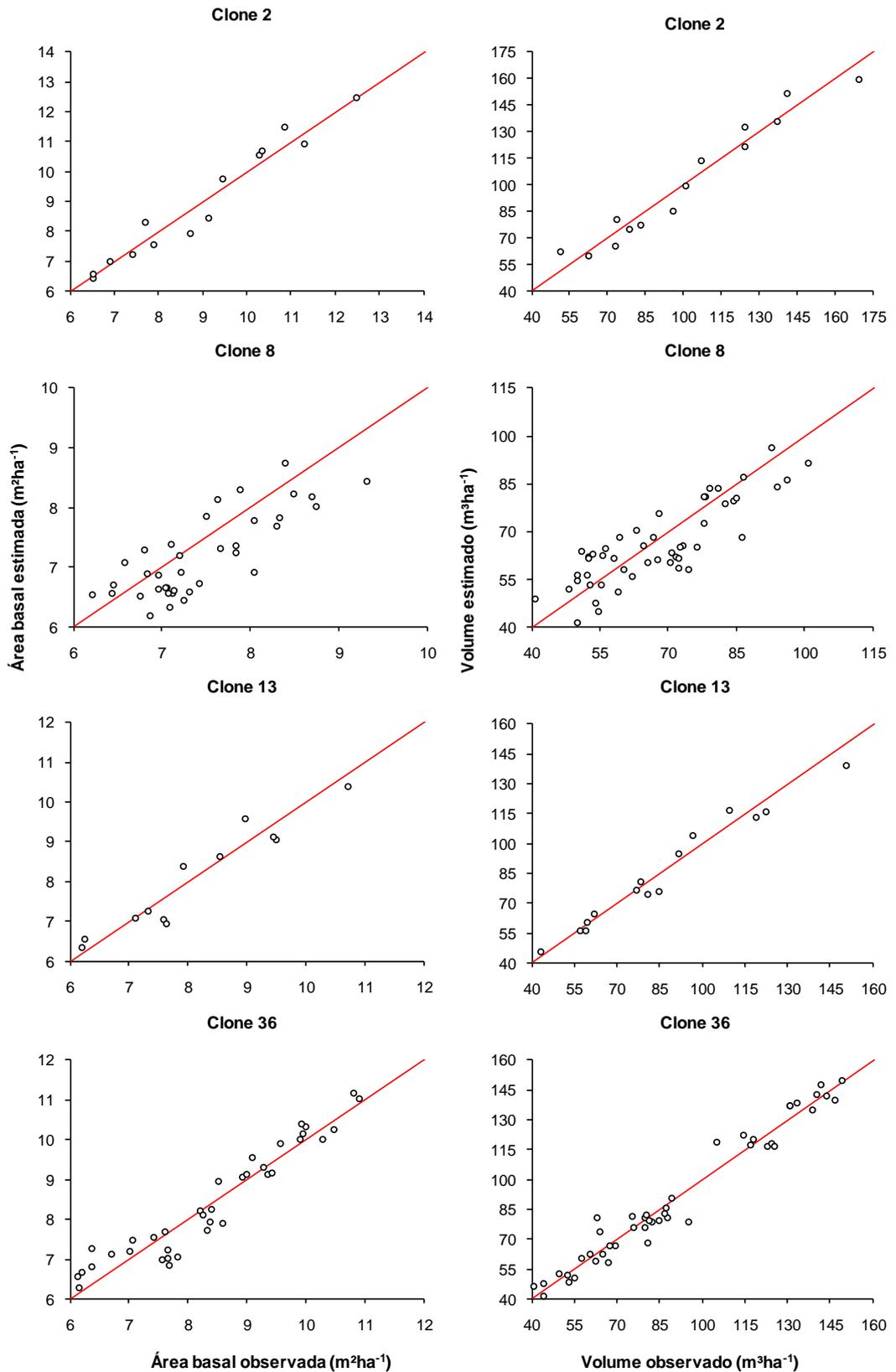


Figura 8 – Relação entre os valores observados e estimados para a área basal e o volume dos clones 2, 8, 13 e 36.

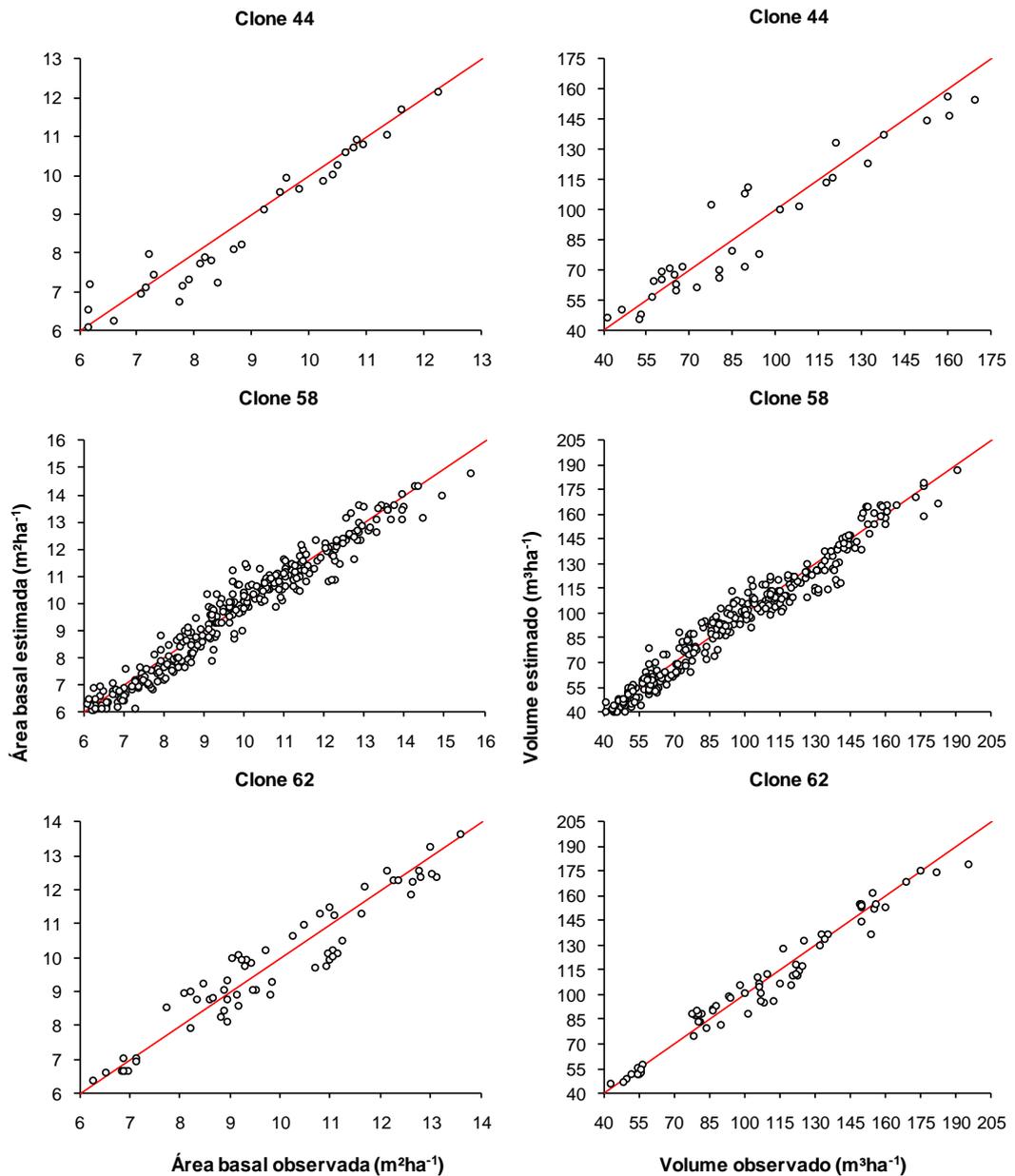


Figura 9 – Relação entre os valores observados e estimados para a área basal e o volume dos clones 44, 58 e 62.

Analisando os gráficos das Figuras 8 e 9, verificou-se que houve leve tendência de superestimação das áreas basais de menor valor do clone 36, e leve subestimação dos maiores volumes do clone 44.

Nas dispersões percentuais de resíduos para área basal (Figura 10) e para volume (Figura 11), observaram-se também as tendenciosidades encontradas nos clones 36 e 44. Elas foram relativamente baixas se observada a sua dispersão nesses casos. Para a área basal do clone 36, nas menores idades, onde ocorrem os menores valores, raramente os

resíduos ultrapassaram os 10%. Já para o clone 44, os resíduos dos volumes estimados nas maiores idades, onde se encontram os maiores valores, não ultrapassam os -10%. De maneira geral, a dispersão aconteceu em torno de $\pm 10\%$ para área basal dos clones 2, 13, 44 e 62, $\pm 20\%$ para área basal dos clones 8, 36 e 58, $\pm 10\%$ para volume dos clones 2, 13 e 62, e $\pm 20\%$ para volume dos clones 8, 36, 44 e 58.

Para permitir uma comparação entre produtividades médias em área basal e volume, foram gerados gráficos a partir das equações de área basal futura (B_2) e volume futuro (V_2), conforme Figuras 12 e 13. O clone 8 obteve o pior desempenho na análise das duas variáveis. O melhor material genético em termos de crescimento em área basal foi o de número 58, e para volume foi o de número 2, seguido em valores próximos pelos clones 58 e 36. A empresa tem feito uma boa escolha ao utilizar o clone 58 na maior parte de seus povoamentos, entretanto o clone 2 merece destaque pelo seu desempenho em volume, e poderia ser foco específico de estudos visando implantação mais extensa.

Muitas vezes tem-se dificuldades em ajustar o modelo de Clutter na sua forma reduzida (não contendo as interações entre as variáveis), usualmente utilizado nas empresas florestais, para dados com poucas observações ou com tendências algumas vezes não usuais, como no caso do componente arbóreo de sistemas agroflorestais que sofrem interações vindas das outras culturas presentes no sistema, podendo resultar em tendências diferenciadas de crescimento. Neste caso, algumas vezes são ajustados modelos volumétricos mais simples com um número menor de variáveis independentes. Estes modelos podem ser inconsistentes em estimar idade técnica de corte (ITC), por exemplo, caso não considerem a variável S. Resultando em ITC iguais para locais com classe de produtividade diferente.

O modelo na sua forma não reduzida, como apresentado neste trabalho, foi eficiente ao projetar área basal e volume dos clones selecionados dentro do SAF estudado. Deve ser dada preferência ao seu uso, já que, além do mesmo assumir a forma usual (reduzida) quando a mesma corresponde à tendência do estrato, ele pode assumir formas finais compatíveis com tendências diferenciadas encontradas nos povoamentos.

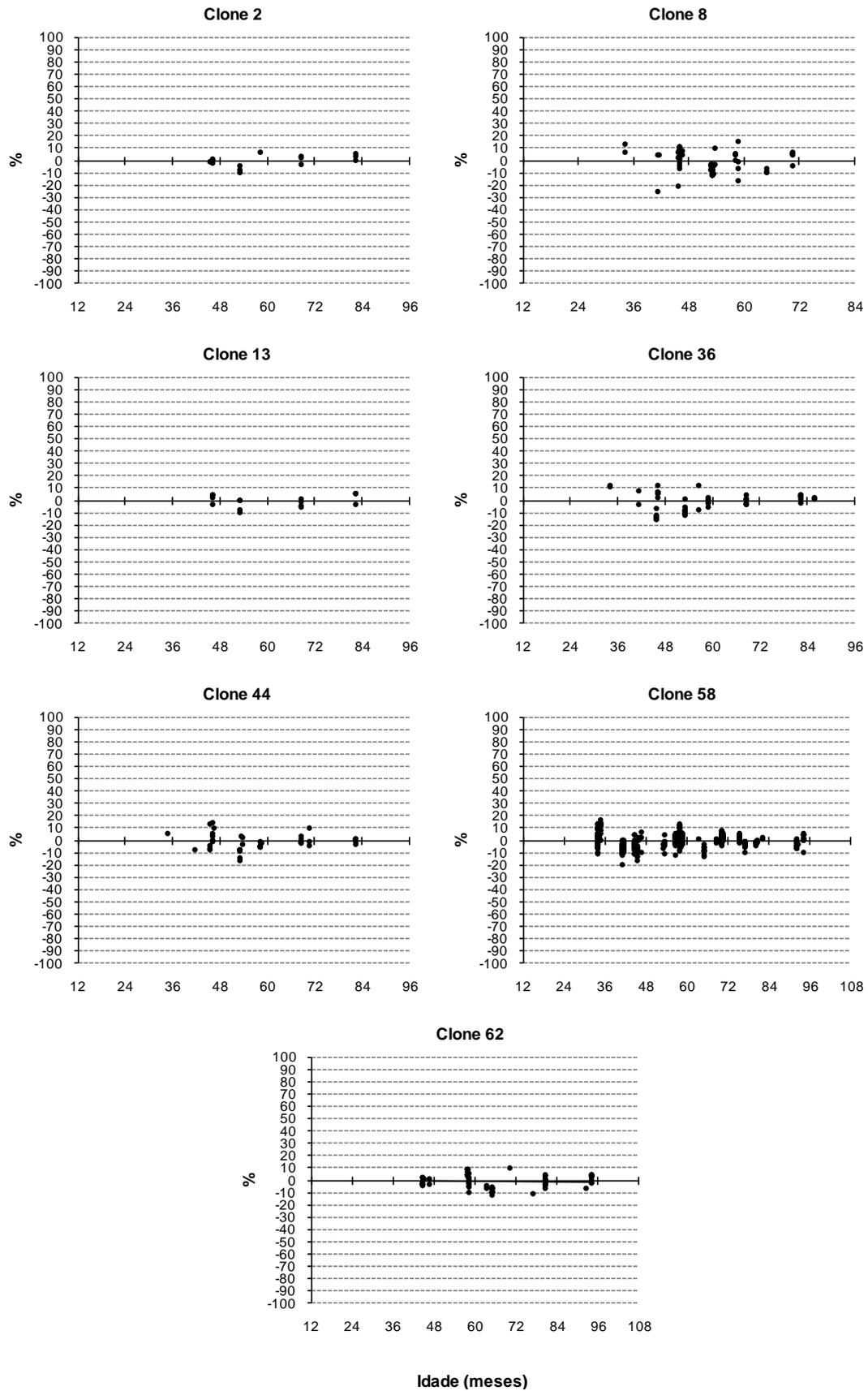


Figura 10 – Resíduos percentuais referentes à área basal estimada dos clones estudados.

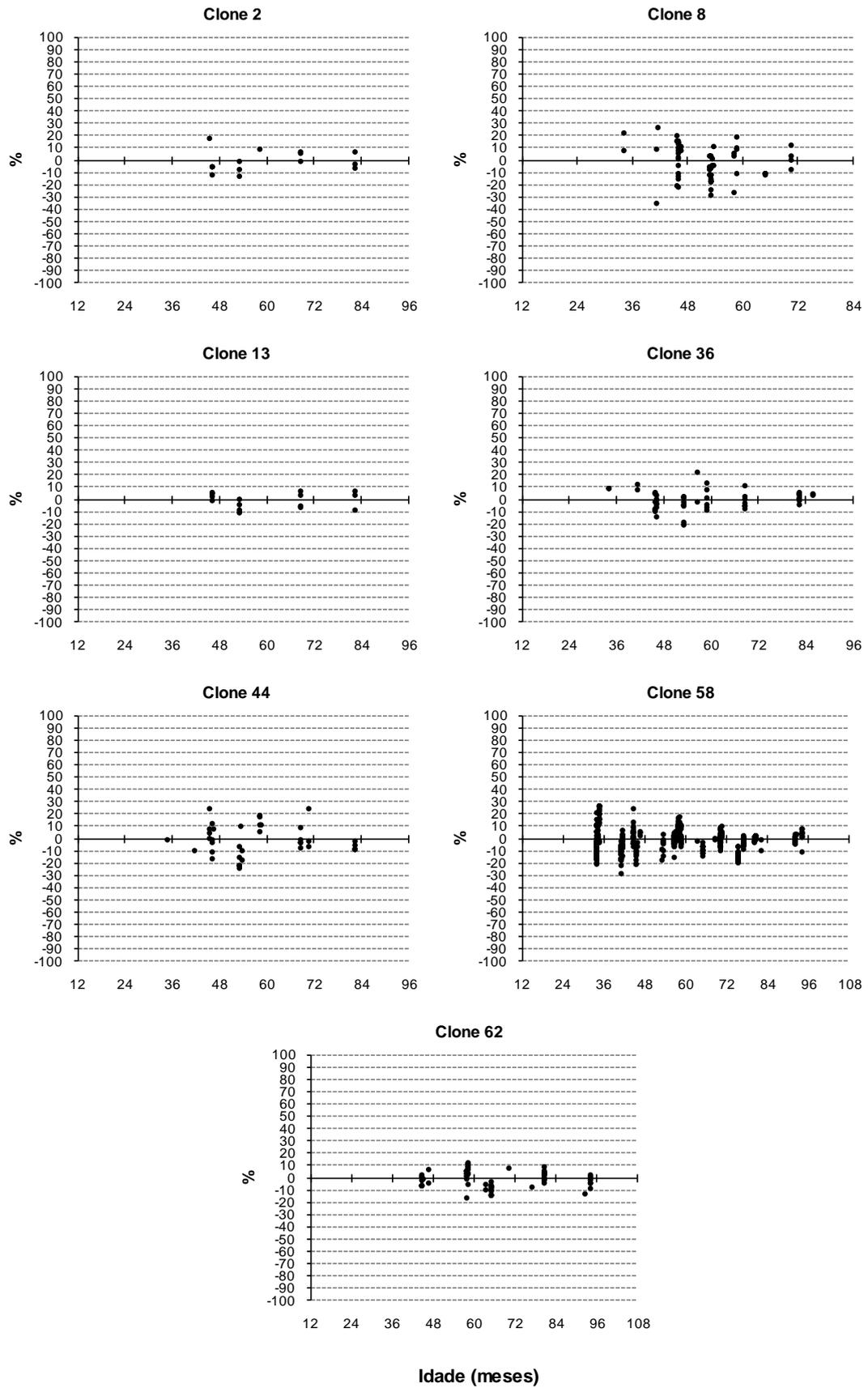


Figura 11 – Resíduos percentuais referentes ao volume estimado dos clones estudados.

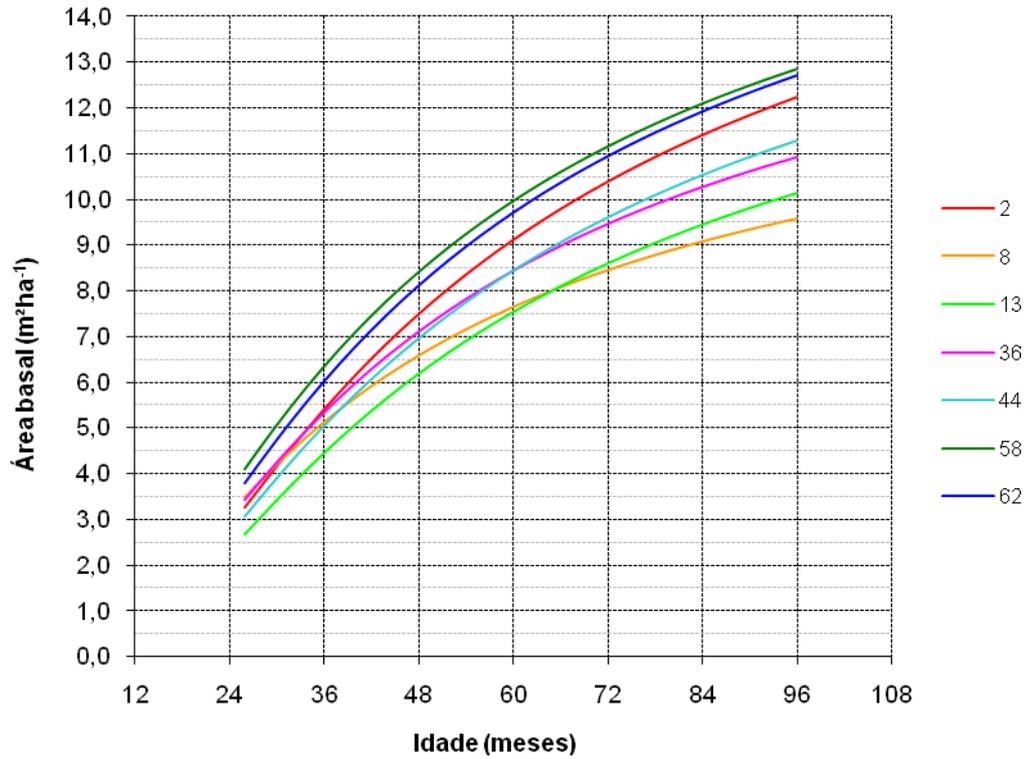


Figura 12 – Comparação da produtividade média em área basal dos clones modelados.

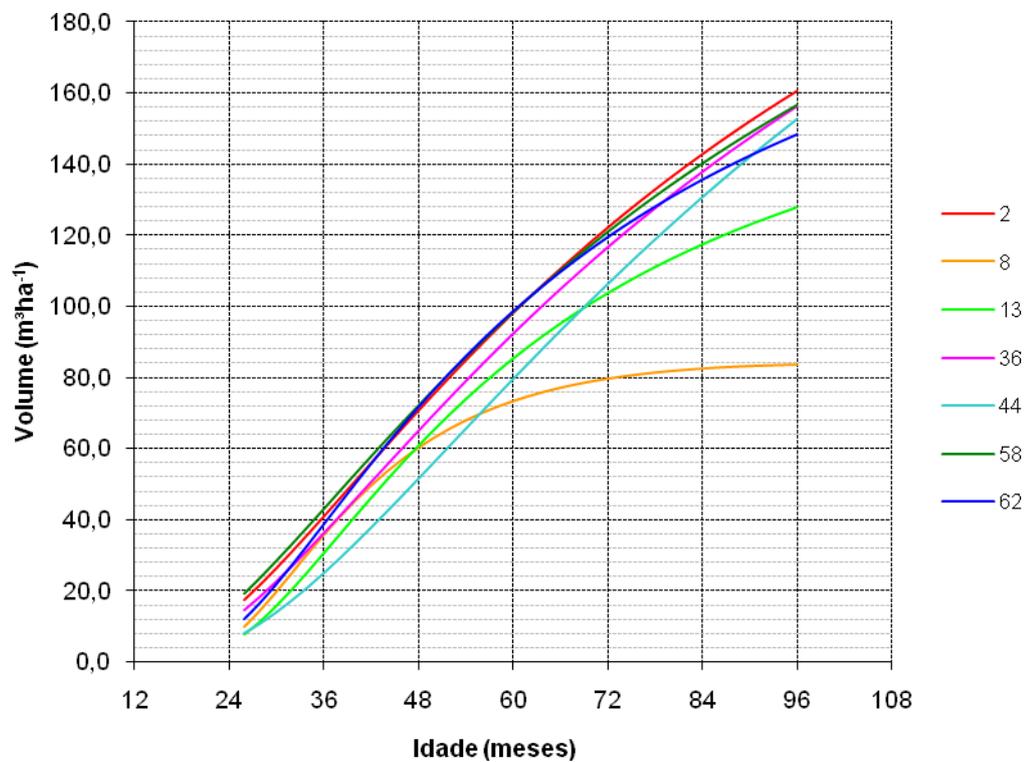


Figura 13 – Comparação da produtividade média em volume dos clones modelados.

5. CONCLUSÕES

O modelo de Clutter, ajustado inicialmente na forma não reduzida, e então reduzido com base nas significâncias de seus parâmetros, é eficiente em estimar o crescimento e produção dos clones estudados presentes no sistema agroflorestal deste trabalho. Isso para todas as classes de produtividade, e sem gerar tendenciosidades que prejudiquem a tomada de decisão.

Na forma como foi ajustado neste estudo, o modelo é mais eficiente em representar tendências diversificadas do que aquela usualmente aplicada nas empresas florestais (forma reduzida).

Em média, os clones 2 e 58 apresentam o melhor desempenho, e o clone 8, o pior.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVERY, T. E. e BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Co, 1994. 408 p.

CAMPOS, J. C. C. e LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 548 p.

CARTAXO, L.; ALMEIDA, C. de S.; SILVA, M. de N. A. da. Oferta e demanda da mandioca no Estado do Ceará: uma aplicação do Método dos mínimos quadrados em dois estágios (MQ2E). In CONGRESSO DA SOBER, 42., 2004, Cuiabá. **Anais...** Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/>>. Acesso em: 04 fev. 2010.

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

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

DEBERTIN, D. L. Significance Tests of Regression Coefficients: An Additional Reminder. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 57, n. 1, p. 124, 1975.

DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes**. 2000. 70p. il. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ELLIS, E. A.; BENTRUP, G.; SCHOENEBERGER, M. M. Computer-based tools for decision support in agroforestry: Current state and future needs. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 401-421. 2004.

FILGUEIRAS, A. P. A.; CARVALHO, R. M. Análise da oferta e da demanda de feijão no Estado do Ceará: uma aplicação da técnica de sistemas lineares de equações simultâneas. In CONGRESSO DA SOBER, 42., 2004, Cuiabá. **Anais...** Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/>>. Acesso em: 04 fev. 2010.

GRAVES, A. R.; BURGESS, P. J.; LIAGRE, F.; TERREAUX, J. P.; DUPRAZ, C. Development and use as framework for characterizing computer models of silviculture economics. **Agroforestry Systems**, v. 65, p. 53-65, 2005.

GUJARATI, Damodar N. **Econometria básica**. São Paulo: Makron Books, 2004. 819 p.

SHEINER, L. B. e BEAL, S. L. Some suggestions for measuring predictive performance. **Journal of Pharmacokinetics and Biopharmaceutics**, v. 9, n. 4, p. 503-512, 1981.

CAPÍTULO 2

MODELAGEM DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MADEIRA EM UM POVOAMENTO AGROFLORESTAL EM NÍVEL DE ÁRVORE INDIVIDUAL

Resumo – Este trabalho foi realizado com dados coletados de um sistema agroflorestal (SAF) localizado na região Noroeste do Estado de Minas Gerais, e teve como objetivo ajustar um modelo em nível de árvore individual, visando estimar crescimento e produção de madeira. Foram selecionados para o estudo sete materiais genéticos (clones de eucalipto) melhor amostrados para este fim. Para a modelagem em nível de árvore individual foi utilizado um sistema de equações composto por um modelo de projeção de diâmetro, um modelo para estimar altura, e outro modelo para estimar volume. A mortalidade não foi modelada. O sistema de equações utilizado foi eficiente em projetar o diâmetro e a produção de madeira do SAF estudado, e a mortalidade pôde ser ignorada nesse processo. Para o sistema estudado, a modelagem em nível de árvore individual pode ser utilizada como alternativa à modelagem em nível de povoamento.

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais, crescimento e produção, modelagem em nível de árvore individual.

Abstract – This study was conducted with data collected from an agroforestry system located in the Northwest of Minas Gerais, Brazil. The objective of this work was to set an individual tree model to estimate wood growth and yield of an agroforestry system. The seven best sampled cultivars for this purpose were selected for the study. For the individual tree modeling, an equation system, composed by a projection model for diameter, a model to estimate height and a model to estimate volume was used. Mortality was not modeled. The equation system showed to be efficient in projecting the diameter and the yield of the studied agroforestry system and mortality could be ignored in this process. For the studied system, the individual tree modeling can be used as an alternative to stand modeling.

Key words: Agroforestry systems, growth and yield, individual tree model.

1. INTRODUÇÃO

Estimativas de crescimento e produção são informações fundamentais no planejamento de empreendimentos florestais. A obtenção destas informações está vinculada ao universo da modelagem, onde equações ajustadas às características do povoamento são utilizadas visando estimar variáveis de interesse ao manejo florestal.

Dias et. al. (2005) comentam a existência de modelos de distribuição de diâmetros, onde se utiliza informações em nível de árvore individual para gerar estimativas da produção e da estrutura do povoamento e que, no Brasil, persiste o uso de modelos em nível de povoamento para este fim.

Ainda falando de Brasil, poucos estudos têm sido feitos no universo da modelagem em nível de árvore individual. A maior parte dos trabalhos recentes envolve uso de modelos nesse nível para estimar múltiplos volumes e multiprodutos por árvore individual, como nos trabalhos de Leite et. al. (1995), Chichorro et. al. (2003) e Soares et. al. (2004a). Outros buscam estimar diâmetro ou altura individuais conforme Calegario et. al. (2005) e Mendes et. al. (2006), mas de maneira isolada, não envolvendo um conjunto de equações integradas que vão desde a projeção de diâmetro até a quantificação de volume por hectare.

Profissionais da área do manejo florestal, ocasionalmente, têm em mãos povoamentos com estrutura de difícil modelagem, ou banco de dados com nível restrito de informações. Nesse cenário, a modelagem em nível de árvore individual pode surgir como alternativa para contornar estes problemas de prognose.

2. OBJETIVO

Com material genético atualmente empregado em empresas florestais, e com maior quantidade de medições do que aquelas presentes em trabalhos anteriores realizados na mesma região, este estudo foi conduzido com o objetivo de ajustar um modelo em nível de árvore individual eficiente em estimar crescimento e produção de madeira em um sistema agroflorestal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Descrição dos dados

Os sete clones trabalhados no capítulo anterior foram selecionados para o estudo de modelagem em nível de árvore individual, possuindo idades entre 20 e 95 meses, número médio de árvores por hectare igual a 242 e apresentando as características descritas nas Tabelas 6 e 7. Os dados de volume apresentados nas tabelas foram oriundos do processamento das equações estimadas a partir de dados de cubagem de árvores abatidas, com posterior aplicação da fórmula de Smalian.

O clone 8, por não possuir nenhuma parcela com cinco medições, foi modelado a partir dos dados de parcelas que possuíam quatro medições (do ano 2004 ao 2007). Para os demais materiais genéticos, foram utilizadas as parcelas que possuíam cinco medições (do ano 2004 ao 2008). Os dados foram submetidos a consistência, eliminando-se *outliers*.

Tabela 6 – Amplitude e valores médios, em nível de árvore, de idade, altura (*H*) e diâmetro à altura do peito (*DAP*) dos sete materiais genéticos escolhidos para estudo no SAF.

Clone nº	Idade (mês)		<i>H</i> (m)			<i>DAP</i> (cm)		
	Mínima	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
2	31,43	82,23	8,60	21,82	30,70	6,43	19,09	27,60
8	32,40	70,53	7,00	19,76	27,10	6,05	17,94	26,50
13	31,43	82,23	10,10	19,78	32,10	10,25	17,66	26,60
36	20,57	85,90	6,75	21,39	32,20	6,91	17,54	27,10
44	31,43	82,23	9,00	21,71	33,10	7,03	18,78	30,10
58	20,40	94,20	2,83	19,95	33,70	6,05	19,63	31,00
62	43,23	94,23	11,00	25,95	34,60	6,81	21,83	32,10
Geral	20,40	94,23	2,83	21,23	34,60	6,05	19,52	32,10

Tabela 7 – Amplitude e valores médios, em nível de árvore, de área seccional, volume com casca e número de parcelas modeladas dos sete materiais genéticos escolhidos para estudo no SAF.

Clone nº	Área seccional (m ²)			Volume (m ³)			Número de parcelas
	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo	
2	0,003	0,030	0,060	0,010	0,315	0,830	3
8	0,003	0,027	0,055	0,010	0,230	0,600	3
13	0,008	0,026	0,056	0,050	0,242	0,620	3
36	0,004	0,025	0,058	0,010	0,265	0,720	5
44	0,004	0,029	0,071	0,020	0,307	1,030	5
58	0,003	0,032	0,075	0,010	0,289	0,960	31
62	0,004	0,038	0,081	0,020	0,422	1,010	8
Geral	0,003	0,032	0,081	0,010	0,306	1,030	58

Simulação da produção futura

A prognose, como já foi mencionado, é geralmente composta por quatro sub-modelos: incremento em diâmetro, incremento em altura, taxa de desenvolvimento da copa, e uma função de mortalidade.

O desenvolvimento da copa não foi modelado por não ser um fator necessário para projetar volume de florestas plantadas, e ainda pelo fato do sistema aqui definido ser independente da distância. A mortalidade também não foi modelada, pois, além de haver o replantio no caso de falhas, a competição é reduzida a níveis muito baixos por conta do espaçamento 10 x

4 m. Foi então definido um sistema para simulação da produção futura, composto por uma equação de projeção em diâmetro, uma para predição de altura, e uma para predição de volume.

Os modelos para estimar altura individual necessitaram da altura dominante (Hd) como entrada. Esta variável foi computada a partir das equações para Hd ajustadas para cada clone no primeiro capítulo deste trabalho.

Projeção do diâmetro

Para a projeção do diâmetro, foi selecionado o modelo na forma de equação de diferenças utilizado por Pienaar e Schiver (1981) para estimar sobrevivência. Aqui foi aplicado, conforme proposto por Campos e Leite, (2009) para projetar diâmetro futuro em função do diâmetro presente, idade presente e idade futura. Para este fim, também foi testada a função Logística na forma das diferenças, como proposto por Oliveira (2007). Os dois modelos, na sequência citada, são:

$$DAP_2 = DAP_1 e^{-\beta_0(I_2^{\beta_1} - I_1^{\beta_1})} + \varepsilon$$

$$DAP_2 = DAP_1 + \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I_2}} - \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I_1}} + \varepsilon$$

em que:

DAP_1 = diâmetro à altura do peito, presente, em cm;

DAP_2 = diâmetro à altura do peito, futuro, em cm;

I_1 = idade presente, em meses;

I_2 = idade futura, em meses;

β_0, β_1 e β_2 = parâmetros dos modelos e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim N(0, \sigma_2)$.

Os modelos foram ajustados para os sete clones, tendo sido gerados gráficos de tendência entre valores observados e estimados, e dispersão percentual de resíduos. Com base no coeficiente de determinação ($r_{\hat{y}y}$) das equações, e na análise dos gráficos mencionados, foi então feita a escolha do modelo a ser aplicado para cada material genético.

Prognose da altura

Para estimar altura, foi selecionado o modelo estático proposto por Harrison et al. (1986):

$$H = k + Hd \left(1 + \beta_0 e^{\beta_1 Hd} \right) \left(1 - e^{-\beta_2 DAP \cdot Hd^{-1}} \right) + \varepsilon$$

e o modelo proposto por Scolforo (1993) ajustado por Soares et. al. (2004b):

$$\ln H = \beta_0 + \beta_1 \ln Hd + \frac{\beta_2}{I} + \beta_3 \ln B + \frac{\beta_4}{I \cdot DAP} + \varepsilon$$

em que:

H = altura da árvore, em m;

k = constante em geral igual a 1,3 m;

Hd = altura dominante média da parcela, em m;

DAP = diâmetro à altura do peito, em cm;

I = idade, em meses;

B = área basal da árvore individual, em m²;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e β_3 = parâmetros dos modelos e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim N(0, \sigma_2)$.

Da mesma forma feita para diâmetro, ajustaram-se os dois modelos para os sete clones, sendo gerados gráficos de tendência entre valores observados e estimados, e dispersão percentual de resíduos. Com base no

coeficiente de determinação ($r_{\hat{y}y}$) dos ajustes, e na análise dos gráficos mencionados, foi escolhido o modelo a ser aplicado para cada material genético.

Volume e área basal

Para estimar volume, foi empregado o modelo de Schumacher e Hall (1933):

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln H + \varepsilon$$

em que:

V = volume da árvore individual, em m³;

H = altura da árvore, em m;

DAP = diâmetro à altura do peito, em cm;

β_0, β_1 e β_2 = parâmetros dos modelos e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

Os diâmetros projetados e as alturas estimadas serviram de entrada para as equações de volume. Estas foram ajustadas aos estratos (definidos pela empresa), contendo as parcelas estudadas. Ao clone 58, amplamente implantado pela empresa, houve mais de uma equação de volume atribuída. Os coeficientes dos modelos de Schumacher e Hall, e os clones aos quais eles estão associados, são apresentados na Tabela 8.

A área basal foi computada a partir das estimativas de DAP das equações de projeção diamétrica, e então extrapolada para hectare.

A soma, ano a ano, por parcela, das estimativas de volume resultantes de cada árvore, também foi extrapolada para hectare. Esse resultado foi comparado com os volumes definidos para cada parcela, obtidos por meio das equações geradas nos ajustes com os dados de árvores cubadas nos povoamentos

Para avaliar a eficiência do sistema de equações em projetar volume e área basal, foram elaborados gráficos de dispersão de resíduos e

calculadas as medidas de exatidão *bias%* e *RQEM*, conforme definidas no primeiro capítulo deste trabalho.

Tabela 8 – Coeficientes do modelo volumétrico de Schumacher e Hall atribuídos a cada clone modelado.

Clone nº	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$
2	-10,40102	1,82080	1,21743
8	-11,27269	1,57116	1,70439
13	-10,15154	1,73198	1,22596
36	-10,63677	1,61625	1,46359
44	-10,3891	1,66326	1,35861
58	-11,50165	1,53306	1,84803
	-10,76359	2,25461	0,86366
	-10,31345	1,86207	1,12537
	-10,20264	1,64073	1,30380
62	-10,31477	1,52121	1,44336

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Projeção do diâmetro e predição da altura

Os modelos selecionados para projetar diâmetro de cada clone e seus coeficientes foram relacionados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Modelos atribuídos a cada clone para projeção de diâmetro e coeficiente de determinação ($r_{\hat{y}y}$) em porcentagem.

Modelo	Clone nº	$r_{\hat{y}y}$
$DAP_2 = DAP_1 + \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I_2}} - \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I_1}} + \varepsilon$	2	91,5 %
	<i>Logístico</i>	
	8	83,4 %
	13	90,7 %
	44	90,1 %
$DAP_2 = DAP_1 e^{-\beta_0 (I_2^{\beta_1} - I_1^{\beta_1})} + \varepsilon$	<i>Pienaar e Schiver</i>	
	36	89,6 %
	58	90,9 %
	62	92,2 %

Tabela 10 – Coeficientes dos modelos diamétricos selecionados para cada clone.

Clone	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$
2	24,43933	4,11366	0,05807
8	22,63474	1,60169	0,04510
13	22,44227	3,44615	0,05262
44	25,99228	3,75032	0,04929
36	11,31129	-0,82984	-
58	18,04705	-1,00555	-
62	4,54677	-0,47763	-

Para altura, o modelo proposto por Harrison et al. (1986) superestimou os menores diâmetros em torno da altura 1,3 m, valor assumido pela constante k . Logo, optou-se por retirar essa constante do modelo, resultando em melhores estimativas para os clones 13 e 44.

O modelo de Scolforo (1993) apresentou melhor desempenho ao estimar altura dos clones 2, 8, 36, 58 e 62. Uma vez que determinados coeficientes não foram significativos no ajuste para alguns clones, os termos a eles associados foram retirados, resultando numa redução do modelo. Como as variáveis eliminadas (B , I e DAP) se repetiam em outros termos presentes no modelo (considerando que a área basal é uma medida de DAP transformada), não houve perdas em relação à consistência do mesmo. As equações resultantes e seus coeficientes encontram-se nas Tabelas 11 e 12.

Todos os parâmetros estimados, tanto para os modelos diamétricos quanto para os modelos de altura, foram significativos pelo teste t ($p < 0,01$). Os coeficientes de correlação ($r_{\hat{y}y}$) ficaram próximos de 90% para todas as equações de diâmetro, e acima desse valor para as equações de altura, com exceção do clone 8 que teve $r_{\hat{y}y}$ igual a 83,9 %. Esses valores podem ser considerados satisfatórios em termos de modelagem de crescimento e produção.

Tabela 11 – Modelos hipsométricos atribuídos a cada um dos clones e seu coeficiente de determinação ($r_{\hat{y}y}$).

Modelo	Clone	$r_{\hat{y}y}$
<i>Scolforo</i>		
$\ln H = \beta_0 + \beta_1 \ln Hd + \frac{\beta_2}{I} + \beta_3 \ln B + \frac{\beta_4}{I.DAP} + \varepsilon$	2	97,5%
	62	93,0%
$\ln H = \beta_0 + \beta_1 \ln Hd + \frac{\beta_2}{I} + \beta_3 \ln B + \varepsilon$	8	83,9%
$\ln H = \beta_0 + \beta_1 \ln Hd + \frac{\beta_2}{I} + \frac{\beta_4}{I.DAP} + \varepsilon$	36	95,5%
	58	97,6%
<i>Harrison</i>		
$H = k + Hd \left(1 + \beta_0 e^{\beta_1 Hd} \right) \left(1 - e^{-\beta_2 DAP \cdot Hd^{-1}} \right) + \varepsilon$	13	96,2%
	44	93,0%

Tabela 12 – Coeficientes dos modelos hipsométricos selecionados para cada clone.

Clone	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$
2	1,4960	0,6140	0,0650	-185,927	6,8030
62	1,4650	0,6690	0,1290	-244,046	12,4140
8	3,1970	0,2738	0,2488	-99,1518	-
36	1,1206	0,9223	0,3021	-	8,0300
58	0,9838	0,8680	0,2118	-	4,9074
13	0,0921	0,0342	1,8756	-	-
44	0,1599	0,0206	1,7361	-	-

Com base nas relações entre os valores observados e projetados de diâmetro (Figura 14), não foram observadas tendências nas estimativas efetuadas. Os resíduos para esta variável (Figura 15) tiveram amplitude em torno de $\pm 10\%$ para os clones 2 e 13, $\pm 20\%$ para os clones 36, 44 e 62 e de $\pm 30\%$ para os clones 8 e 58.

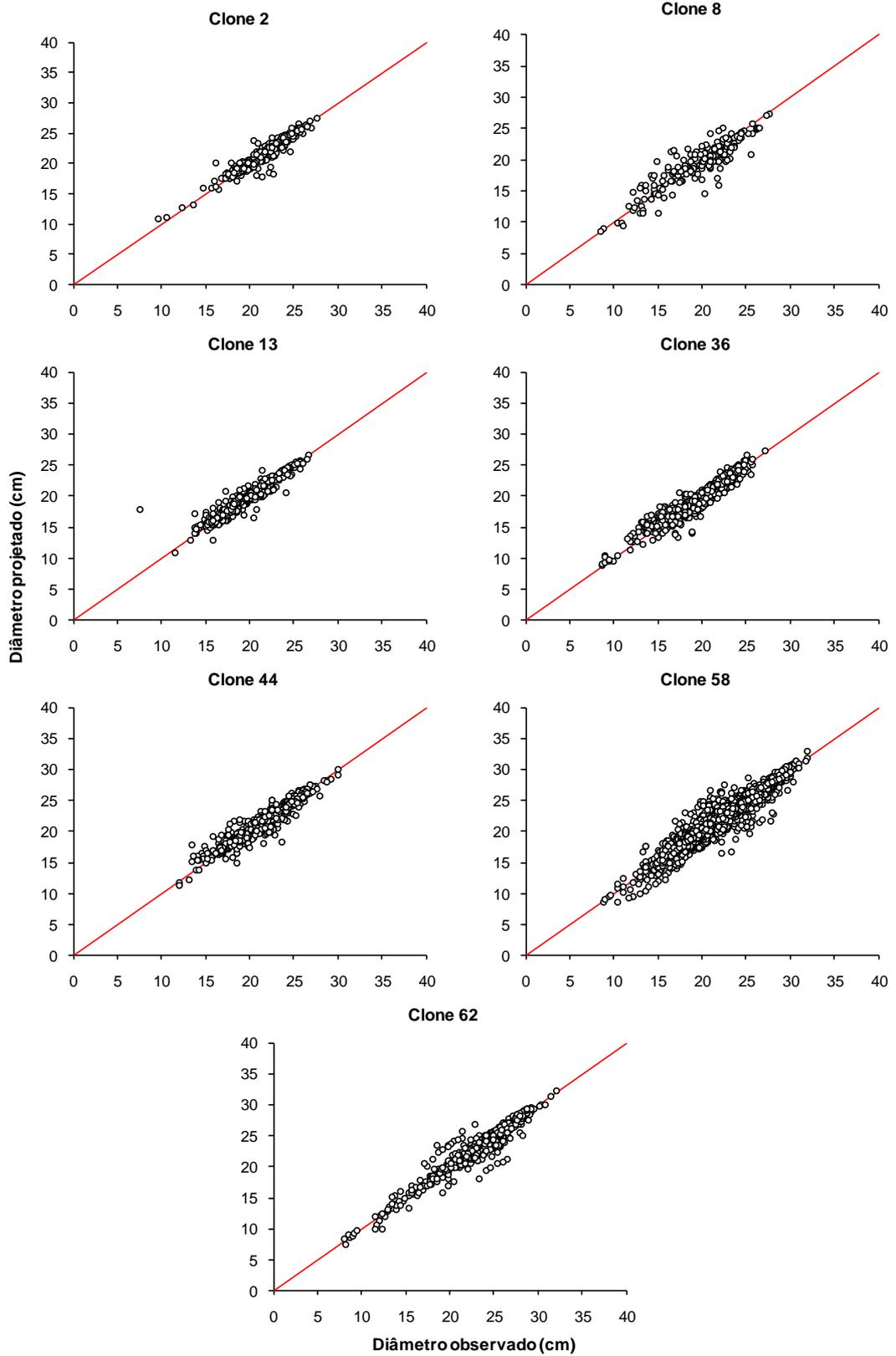


Figura 14 – Relação entre os valores observados e projetados para diâmetro dos clones estudados.

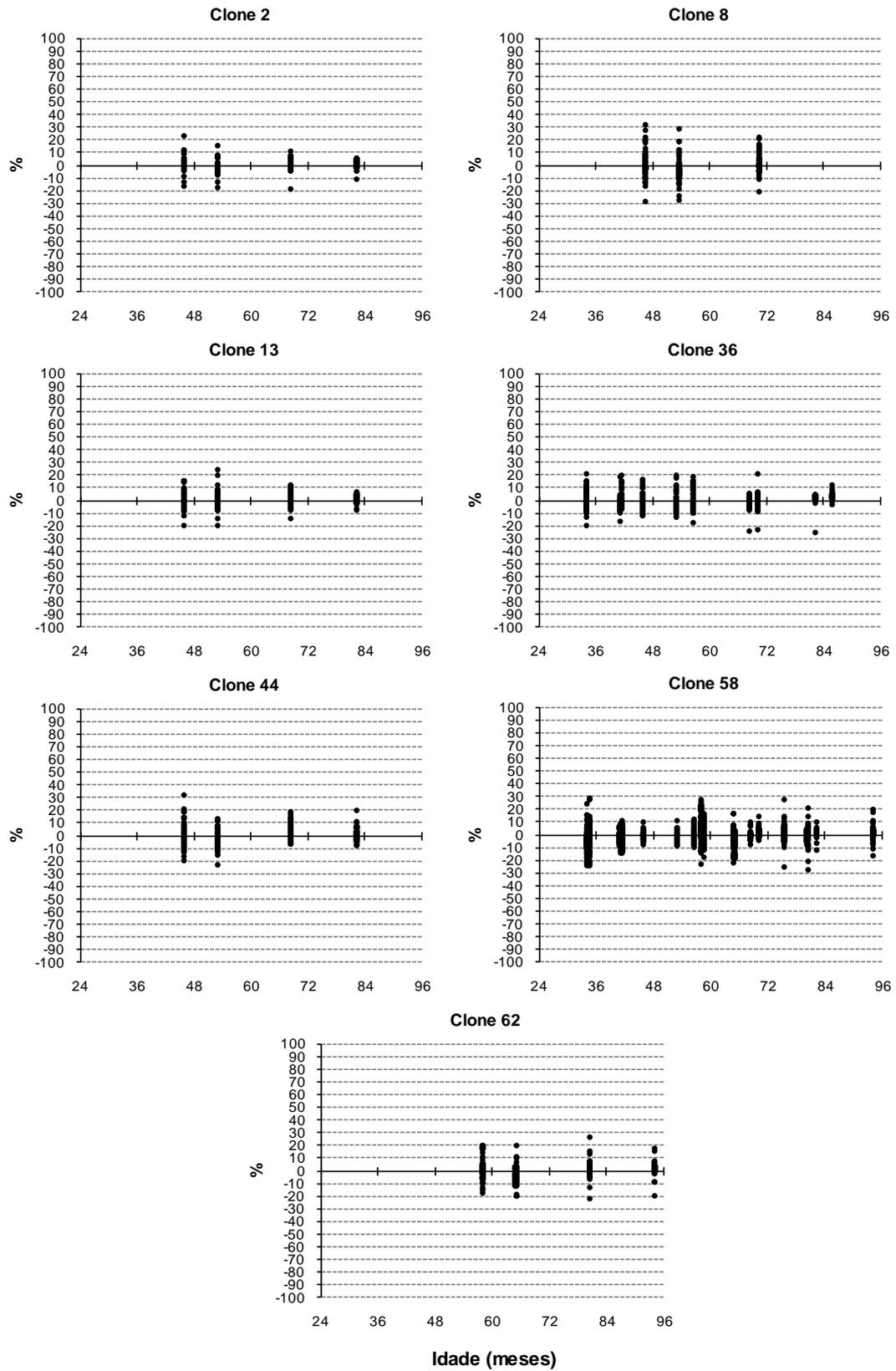


Figura 15 – Resíduos percentuais referentes ao diâmetro projetado dos clones estudados.

Para altura, também não houve tendenciosidade das estimativas quando observadas as relações entre os valores observados e estimados (Figura 16). Os resíduos para a altura estimada (Figura 17) tiveram amplitude em torno de $\pm 10\%$ para os clones 2, 13, 44 e 62 e $\pm 20\%$ para os clones 8, 36 e 58.

Modelar altura e diâmetro em nível de árvore implica em maior dispersão de erros se comparado com a modelagem em nível de povoamento. Isso porque as diferenças entre os valores absolutos destas variáveis, quando vistos árvore a árvore, é alta. Portanto, traçar uma curva média por diferentes árvores em diferentes parcelas implica em erros relativos maiores. Tal fato pode explicar o comportamento de resíduos com grande amplitude de variação como nos clones 8 e 58 (para diâmetro) e clones 2 e 36 (para altura), onde alguns pontos localizados sugerem subestimação ou superestimação. Como só foi possível a estratificação em nível de clone, uma curva de altura ou diâmetro pode passar abaixo ou acima dos valores observados em boa parte das árvores de uma parcela em uma determinada idade. Entretanto, tal fato não afetou o desempenho geral dos modelos.

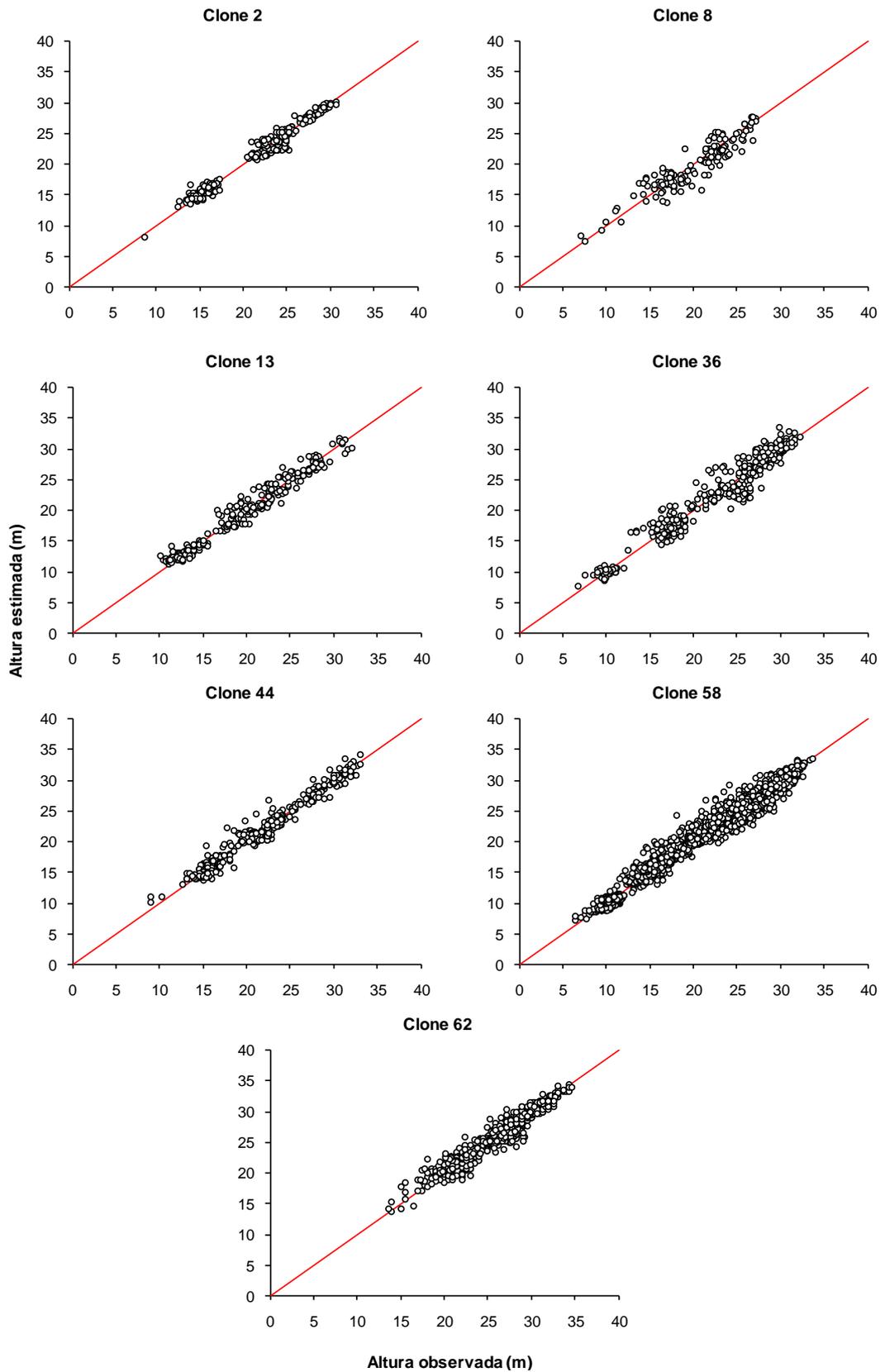


Figura 16 – Relação entre os valores observados e estimados para altura dos clones estudados.

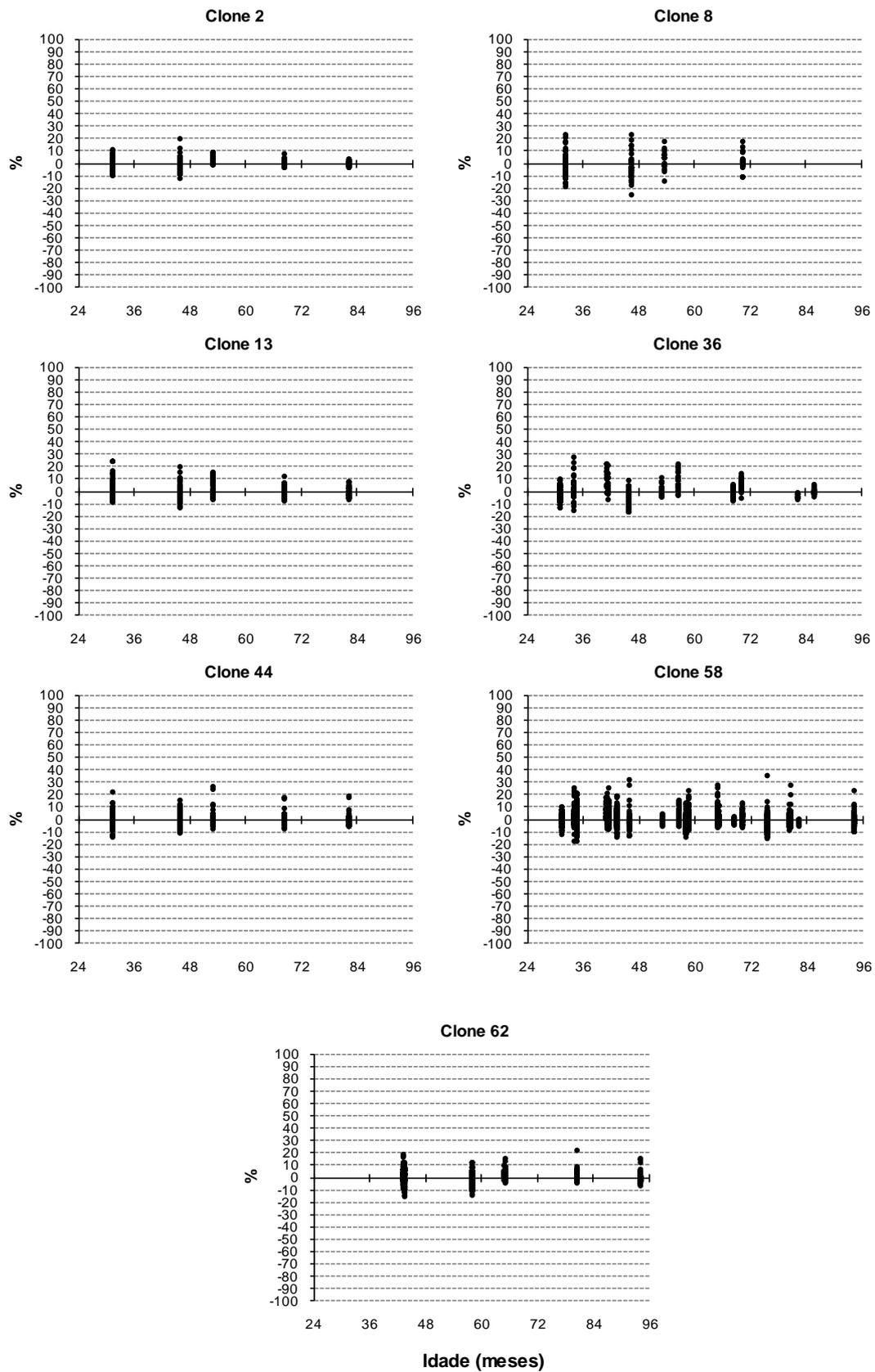


Figura 17 – Resíduos percentuais referentes à altura estimada dos clones estudados.

Projeção do volume

O volume foi projetado em nível de parcela e extrapolado para hectare. Na Tabela 13 encontram-se as medidas de exatidão relativas aos valores projetados quando comparados aos volumes obtidos no processamento da cubagem feita pela empresa.

O *bias%* calculado para as projeções se mostrou satisfatório, ficando abaixo de 2 % para área basal, e variando entre -6 % (clone 13) a 5 % (clone 44) para volume.

A raiz quadrada do erro médio (*RQEM*), que representa o desvio médio das estimativas, foi comparada com o valor absoluto das variáveis estimadas. Os valores de *RQEM* para área basal variaram de 0,29 para (clone 13) a 0,58 (clone 62). Para volume o *RQEM* mínimo foi igual a 5,64 (clone 8) e seu máximo foi 13,9 (clone 13), mostrando que, para essa medida de exatidão, os resultados também foram satisfatórios ao se empregar o modelo em nível de árvore individual.

Tabela 13 – Medidas de exatidão erro médio percentual de predição (*bias%*) e raiz quadrada do erro médio (*RQEM*) das estimativas de volume (*V*) e área basal (*B*) feitas pelo sistema de equações.

Clone nº	<i>bias%</i> (<i>B</i>)	<i>bias%</i> (<i>V</i>)	<i>RQEM</i> (<i>B</i>)	<i>RQEM</i> (<i>V</i>)
2	0,149	-0,137	0,353	7,302
8	-0,695	-1,813	0,416	5,646
13	0,071	-6,047	0,297	13,984
36	0,406	0,273	0,491	10,678
44	1,061	5,037	0,424	6,955
58	1,063	-1,548	0,564	8,953
62	1,156	2,258	0,581	8,089

A divisão dos dados por clone para fins de validação resultaria em uma frequência insuficiente para concluir com base em análises de resíduos, já que alguns materiais genéticos tiveram poucas parcelas envolvidas no estudo. Conseqüentemente, os gráficos de resíduos (Figura 18) foram construídos com as estimativas de todos os clones, feitas por parcela, ano a ano, e extrapoladas para hectare.

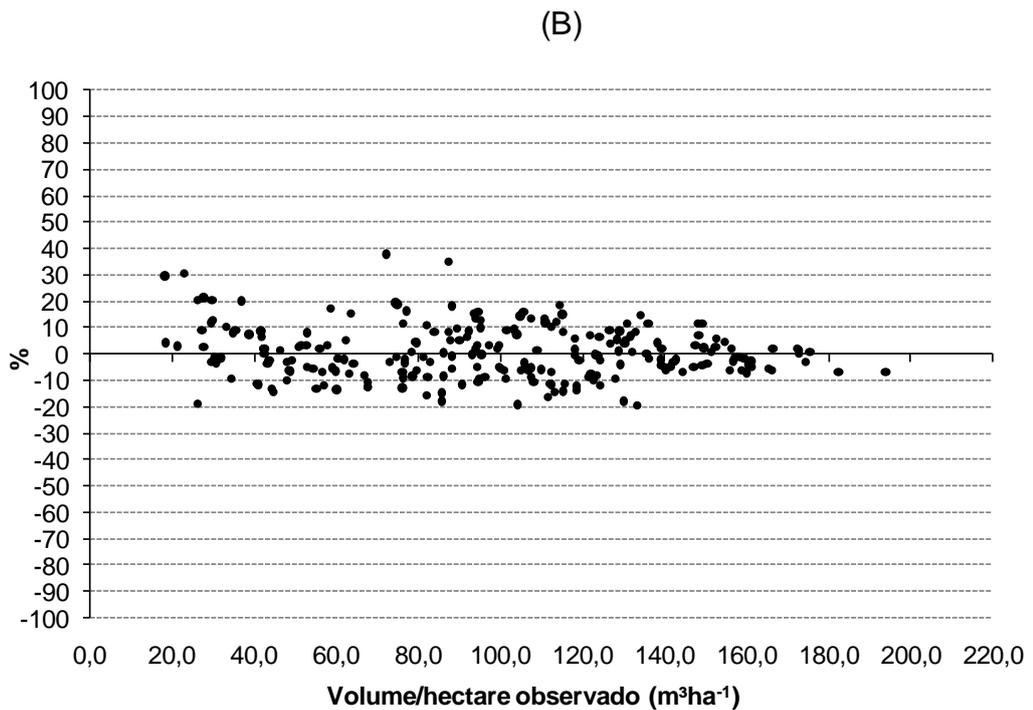
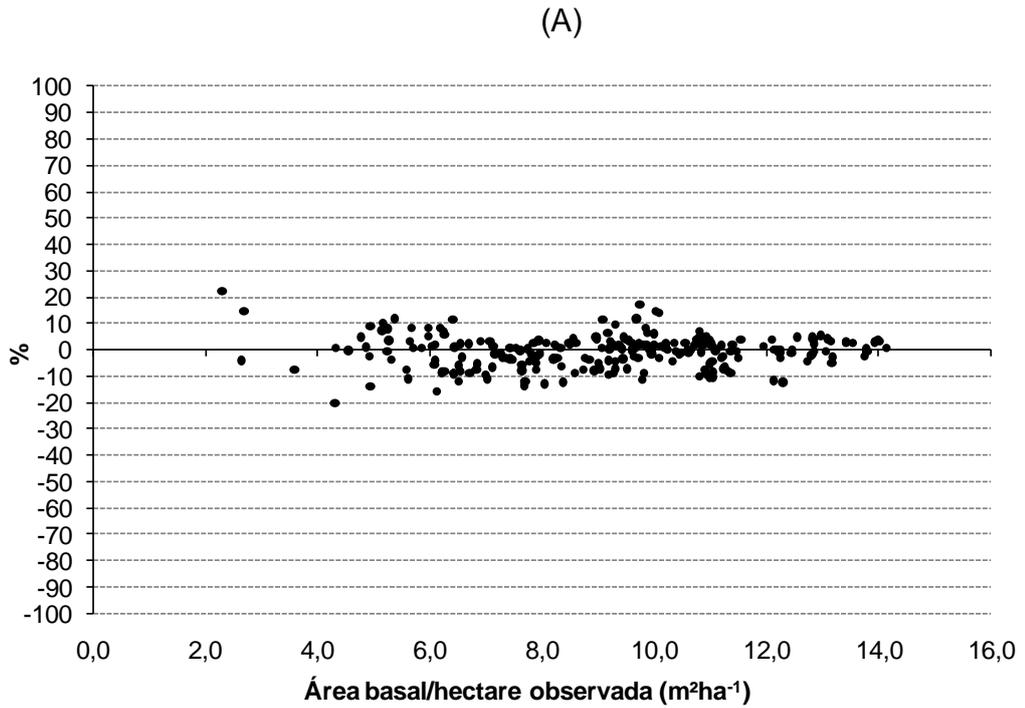


Figura 18 – Resíduos percentuais referentes à área basal (A) e volume (B), por hectare, projetados pelo sistema de equações apresentado.

Os resíduos para área basal tiveram, em sua maior parte, amplitude de $\pm 10\%$, sendo de $\pm 20\%$ para o volume. Estes valores de erros estão dentro de uma faixa aceitável de confiança, sendo uma indicação de que o

sistema de equações estabelecido se presta para projetar as variáveis de interesse. Além disso, conforme sugere a Figura 19, não foram encontradas tendências nas estimações das duas variáveis.

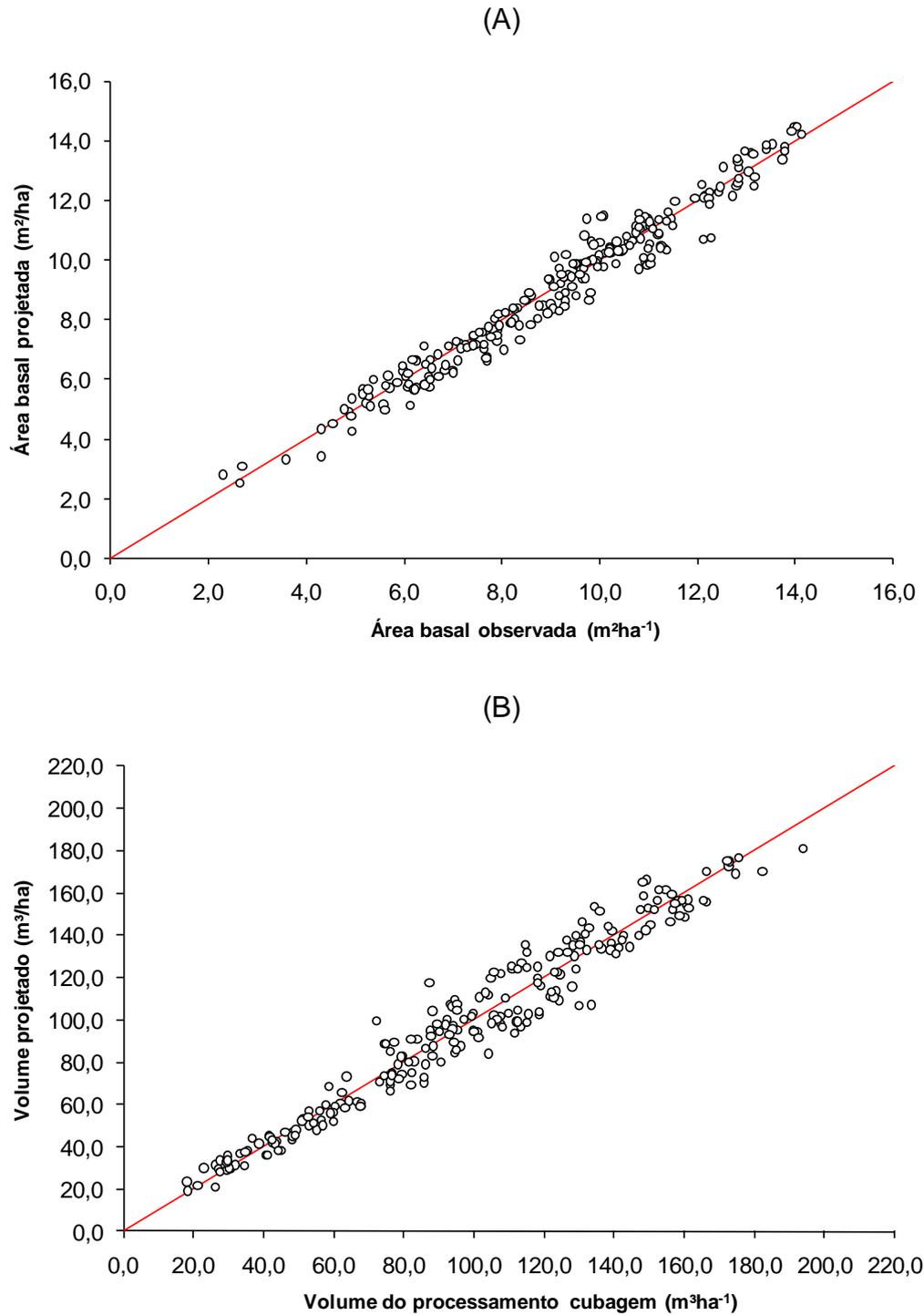


Figura 19 – Relação entre os valores observados e projetados para área basal (A) e volume (B) dos clones estudados.

Descartar a modelagem da mortalidade também não trouxe consequências negativas às estimativas. Tal fato mostra que não houve perdas significativas em volume de madeira no SAF por conta da morte de árvores.

Desses resultados um tanto preliminares, a modelagem em nível de árvore individual sinaliza poder ser utilizada como alternativa no planejamento florestal. Mesmo com uma amostragem não específica para este fim, o presente estudo teve sucesso na projeção da área basal e volume dos materiais genéticos selecionados. Resultados melhores deverão ser obtidos a partir de dados coletados de modo mais específico para modelagem em nível de árvore individual, envolvendo cubagem ao longo dos anos, por exemplo.

Este método pode ser empregado para simulações de tratamentos árvore a árvore, como um desbaste sistemático, ou opção no processamento de inventário em pequenas propriedades, onde não se dispõe de grande quantidade de parcelas mensuradas.

4. CONCLUSÕES

O sistema de equações apresentado neste estudo é eficiente em projetar o diâmetro e produção (m^3ha^{-1}) para os clones selecionados e presentes no sistema agroflorestal deste trabalho.

Para os clones estudados do sistema agroflorestal em questão, a modelagem em nível de árvore individual pode ser utilizada como alternativa à modelagem em nível de povoamento.

A mortalidade, insignificante, pôde ser ignorada no SAF estudado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J. C. C. e LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 548 p.

CALEGARIO, N.; MAESTRI, R.; LEAL, C L.; DANIELS, R. F. Estimativa do crescimento de povoamentos de *Eucalyptus* baseada na teoria dos modelos não lineares em multinível de efeito misto. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 285-292, 2005.

CHICHORRO, J. F.; REZENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de *taper* para quantificar multiprodutos da madeira em Floresta Atlântica. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003.

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

HARRISON, W. C.; BURK, T. E.; BECK, D. E. Individual tree basal area increment and total height equations for Appalachian mixed hardwoods after thinning. **Southern Journal of Applied Forestry**, n. 10, n. 2, p. 99-104, 1986.

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.

MENDES, B. R.; CALEGARIO, N.; VOLPATO, C. E. S.; MELLO, A. A. de. Desenvolvimento de modelos de crescimento de árvores individuais fundamentado em equações diferenciais. **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 254-263, 2006.

OLIVEIRA, M. L. R. de. **Mensuração e modelagem do crescimento e da produção de povoamentos não-desbastados de clones de eucalipto**. 2007. 103f. il. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PIENAAR, L. V.; SCHIVER, 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.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734, 1933.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3**: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B. do. Um modelo alternativo para a quantificação de multiprodutos em árvores individuais. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 875-882, 2004a.

SOARES, T. S.; SCOLFORO, J. R. S.; FERREIRA, S. O.; MELLO, J. M. de. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 845-854, 2004b.

CONCLUSÕES GERAIS

Tanto a modelagem em nível de povoamento, quanto a modelagem em nível de árvore individual, são eficientes em estimar volume e área basal do SAF estudado.

Quando o modelo de Clutter for utilizado, sua forma não reduzida deve ser testada.

O sistema composto pelos modelos hipsométricos, diamétricos e volumétricos selecionados constitui um bom meio para se projetar área basal e volume futuros, por meio de medições de árvores individuais.

A mortalidade pode ser ignorada ao modelar crescimento e produção do SAF.

APÊNDICES

Tabela 1A – Tabela de produção, por clone, considerando três classes de índice de local, obtida da aplicação do modelo de Clutter.

Clone	Idade (meses)	Área Basal (m^2ha^{-1})			Volume (m^3ha^{-1})			IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)		
		S = Baixo	S = Médio	S = Alto	S = Baixo	S = Médio	S = Alto	S = Baixo	S = Médio	S = Alto
2	24	2,20	2,80	3,40	-	-	-	-	-	-
	36	4,59	5,39	6,14	34,77	40,91	47,87	11,59	13,64	15,96
	48	6,64	7,49	8,25	60,56	70,72	82,22	15,14	17,68	20,56
	60	8,28	9,11	9,85	84,49	98,21	113,76	16,90	19,64	22,75
	72	9,59	10,39	11,09	105,49	122,24	141,24	17,58	20,37	23,54
	84	10,65	11,41	12,06	123,61	142,93	164,86	17,66	20,42	23,55
	96	11,53	12,24	12,85	139,22	160,72	185,12	17,40	20,09	23,14
8	24	2,60	3,10	3,60	-	-	-	-	-	-
	36	4,25	5,12	6,05	23,00	35,48	52,87	7,67	11,83	17,62
	48	5,44	6,57	7,84	42,38	60,10	83,59	10,60	15,03	20,90
	60	6,30	7,64	9,16	54,47	73,28	97,38	10,89	14,66	19,48
	72	6,96	8,44	10,16	61,35	79,63	102,46	10,22	13,27	17,08
	84	7,46	9,07	10,94	65,23	82,48	103,64	9,32	11,78	14,81
	96	7,87	9,57	11,56	67,42	83,58	103,11	8,43	10,45	12,89
13	24	1,60	2,30	3,00	-	-	-	-	-	-
	36	3,49	4,45	5,31	21,61	30,39	39,10	7,20	10,13	13,03
	48	5,15	6,18	7,06	47,05	60,63	73,93	11,76	15,16	18,48
	60	6,51	7,53	8,38	68,70	85,18	101,58	13,74	17,04	20,32
	72	7,61	8,59	9,39	85,24	103,58	122,22	14,21	17,26	20,37
	84	8,51	9,44	10,18	97,67	117,31	137,66	13,95	16,76	19,67
	96	9,25	10,13	10,83	107,11	127,73	149,43	13,39	15,97	18,68

Continua...

Tabela 1A – Cont.

Clone	Idade (meses)	Área Basal (m ² ha ⁻¹)			Volume (m ³ ha ⁻¹)			IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)		
		S = Baixo	S = Médio	S = Alto	S = Baixo	S = Médio	S = Alto	S = Baixo	S = Médio	S = Alto
36	24	2,40	3,00	3,60	-	-	-	-	-	-
	36	4,59	5,33	6,01	30,44	36,18	43,00	10,15	12,06	14,33
	48	6,35	7,10	7,77	54,80	64,96	77,00	13,70	16,24	19,25
	60	7,71	8,43	9,07	77,99	92,29	109,21	15,60	18,46	21,84
	72	8,78	9,45	10,05	98,67	116,64	137,87	16,44	19,44	22,98
	84	9,63	10,26	10,81	116,72	137,87	162,84	16,67	19,70	23,26
	96	10,32	10,91	11,42	132,39	156,29	184,49	16,55	19,54	23,06
44	24	2,10	2,65	3,20	-	-	-	-	-	-
	36	4,12	5,05	6,00	17,86	24,89	34,00	5,95	8,30	11,33
	48	5,78	6,97	8,22	37,27	51,41	69,85	9,32	12,85	17,46
	60	7,07	8,45	9,92	57,95	79,44	107,59	11,59	15,89	21,52
	72	8,09	9,61	11,25	77,77	106,17	143,49	12,96	17,69	23,91
	84	8,91	10,54	12,31	95,96	130,61	176,25	13,71	18,66	25,18
	96	9,58	11,30	13,17	112,34	152,57	205,65	14,04	19,07	25,71
58	24	2,80	3,60	4,40	-	-	-	-	-	-
	36	5,17	6,34	7,52	31,46	42,97	56,22	10,49	14,32	18,74
	48	7,02	8,41	9,83	54,36	72,06	92,49	13,59	18,01	23,12
	60	8,44	9,97	11,54	75,48	98,27	124,67	15,10	19,65	24,93
	72	9,54	11,16	12,85	93,94	120,84	152,14	15,66	20,14	25,36
	84	10,41	12,10	13,87	109,83	140,07	175,39	15,69	20,01	25,06
	96	11,12	12,86	14,69	123,49	156,48	195,13	15,44	19,56	24,39

Continua...

Tabela 1A – Cont.

Clone	Idade (meses)	Área Basal (m^2ha^{-1})			Volume (m^3ha^{-1})			IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)		
		S = Baixo	S = Médio	S = Alto	S = Baixo	S = Médio	S = Alto	S = Baixo	S = Médio	S = Alto
62	24	2,30	3,30	4,30	-	-	-	-	-	-
	36	4,72	6,01	7,17	29,73	38,68	47,36	9,91	12,89	15,79
	48	6,77	8,11	9,26	56,97	71,67	86,88	14,24	17,92	21,72
	60	8,40	9,71	10,79	79,22	98,66	119,78	15,84	19,73	23,96
	72	9,71	10,95	11,96	96,25	119,57	145,74	16,04	19,93	24,29
	84	10,76	11,93	12,86	109,25	135,75	166,19	15,61	19,39	23,74
	96	11,62	12,72	13,59	119,33	148,48	182,52	14,92	18,56	22,82

Tabela 2A – Tabela de produção, mostrando área basal (*B*), volume (*V*) e incremento médio anual (*IMA*) observados e estimados por meio da modelagem em nível de árvore individual.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	<i>B</i> (m ² ha ⁻¹)	<i>B</i> estimada (m ² ha ⁻¹)	<i>V</i> (m ³ ha ⁻¹)	<i>V</i> estimado (m ³ ha ⁻¹)	<i>IMA</i> (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	<i>IMA</i> estimado (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
2	76	2005	46	7,41	7,46	79,37	74,30	20,71	19,38
		2006	53	9,30	8,63	100,81	94,42	22,82	21,38
		2007	68	11,46	11,39	142,77	139,73	25,19	24,66
		2008	82	12,17	12,18	166,16	156,02	24,32	22,83
	78	2005	46	6,53	6,67	62,25	65,60	16,24	17,11
		2006	53	7,90	7,66	79,47	82,80	17,99	18,75
		2007	68	9,61	9,86	104,78	119,84	18,49	21,15
		2008	82	10,11	10,25	121,73	130,3	17,81	19,07
	104	2005	46	6,90	7,13	72,99	70,87	19,04	18,49
		2006	53	8,73	8,05	96,11	87,74	21,76	19,87
		2007	68	10,35	10,63	128,70	130,15	22,71	22,97
		2008	82	10,74	11,14	139,32	142,25	20,39	20,82
8	1	2005	47	6,07	5,73	55,12	47,90	14,07	12,23
		2006	54	7,10	6,63	66,72	61,34	14,83	13,63
		2007	71	7,80	7,69	82,85	80,45	14,00	13,60
	2	2005	47	5,23	5,21	48,02	43,19	12,26	11,03
		2006	54	6,51	5,74	59,97	51,84	13,33	11,52
		2007	71	7,61	7,58	78,29	78,92	13,23	13,34
	3	2005	47	2,29	2,80	18,07	23,42	4,61	5,98
		2006	54	2,64	2,53	21,14	21,76	4,70	4,83
		2007	71	2,68	3,07	22,84	29,86	3,86	5,05

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
13	77	2005	46	6,09	5,83	56,48	52,53	14,73	13,70
		2006	53	7,63	7,02	78,50	71,93	17,77	16,29
		2007	68	9,63	9,40	123,48	113,65	21,79	20,06
		2008	82	10,44	10,28	114,98	132,22	16,83	19,35
	82	2005	46	4,86	4,91	42,31	43,11	11,04	11,25
		2006	53	5,70	5,72	55,84	56,86	12,64	12,87
		2007	68	7,34	7,12	79,04	82,57	13,95	14,57
		2008	82	7,85	8,04	72,25	99,53	10,57	14,57
	83	2005	46	6,24	6,67	61,88	60,55	16,14	15,80
		2006	53	7,12	7,21	74,46	73,60	16,86	16,66
		2007	68	8,49	8,66	99,65	103,04	17,58	18,18
		2008	82	8,98	9,35	87,29	117,72	12,77	17,23
36	14	2005	34	4,54	4,52	30,57	29,55	10,79	10,43
		2006	41	5,27	5,45	41,48	45,05	12,14	13,18
		2007	57	6,26	6,62	63,56	73,26	13,38	15,42
		2008	70	7,26	7,18	83,79	90,75	14,36	15,56
	15	2005	34	4,31	4,34	29,50	28,61	10,41	10,10
		2006	41	5,57	5,15	43,64	42,52	12,77	12,45
		2007	57	8,37	7,32	88,06	83,08	18,54	17,49
		2008	70	9,19	9,21	110,87	123,90	19,01	21,24

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
36	57	2005	46	7,06	7,28	76,21	69,25	19,88	18,07
		2006	53	8,59	7,84	104,06	84,07	23,56	19,03
		2007	68	10,23	10,23	136,23	133,80	24,04	23,61
		2008	86	10,81	11,56	149,17	166,18	20,81	23,19
	109	2005	46	6,44	6,50	67,73	60,58	17,67	15,80
		2006	53	7,43	7,49	86,21	78,87	19,52	17,86
		2007	68	8,60	8,80	101,47	110,62	17,91	19,52
		2008	82	8,96	9,39	113,46	127,09	16,60	18,60
	111	2005	46	5,98	6,29	67,55	59,16	17,62	15,43
		2006	53	7,69	6,63	85,60	70,23	19,38	15,90
		2007	68	9,30	8,91	119,10	116,37	21,02	20,54
		2008	86	10,00	10,60	134,19	153,73	18,72	21,45
44	73	2005	46	6,18	6,68	60,39	59,28	15,75	15,47
		2006	53	7,90	7,31	85,62	73,02	19,39	16,53
		2007	68	9,53	9,86	124,39	121,64	21,95	21,47
		2008	82	10,82	10,72	160,08	148,63	23,43	21,75
	74	2005	46	5,63	5,80	52,83	50,22	13,78	13,10
		2006	53	7,69	6,77	76,04	66,23	17,22	15,00
		2007	68	9,50	9,87	118,02	119,97	20,83	21,17
		2008	82	10,60	10,62	150,34	144,85	22,00	21,20

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
44	75	2005	46	6,03	6,10	51,39	53,18	13,41	13,87
		2006	53	7,64	7,19	76,04	70,97	17,22	16,07
		2007	68	9,62	9,67	118,10	117,74	20,84	20,78
		2008	82	11,19	10,86	158,67	149,07	23,22	21,82
	105	2005	46	7,16	7,04	64,13	61,75	16,73	16,11
		2006	53	8,84	8,48	94,45	84,38	21,39	19,10
		2007	68	10,88	11,14	139,13	136,37	24,55	24,06
		2008	82	12,25	12,27	174,49	169,05	25,54	24,74
	112	2005	46	5,85	5,89	54,28	51,32	14,16	13,39
		2006	53	8,05	6,99	82,06	69,07	18,58	15,64
		2007	68	9,80	9,99	123,73	122,78	21,83	21,67
		2008	82	11,03	11,15	160,50	154,22	23,49	22,57
58	1	2005	35	3,58	3,31	18,41	19,19	6,31	6,58
		2006	42	4,94	4,26	31,75	31,32	9,07	8,95
		2007	59	6,99	6,32	58,68	68,68	11,93	13,97
		2008	75	8,26	8,01	93,35	107,56	14,94	17,21
	2	2005	35	4,93	5,37	26,10	31,39	8,95	10,76
		2006	42	6,41	5,85	42,32	42,32	12,09	12,09
		2007	59	8,76	8,47	77,14	89,64	15,69	18,23
		2008	75	9,67	9,73	110,73	125,59	17,72	20,10

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
58	3	2005	35	5,31	5,11	30,20	29,91	10,35	10,26
		2006	42	6,83	6,30	47,97	46,47	13,71	13,28
		2007	59	9,18	8,80	87,32	94,75	17,76	19,27
		2008	75	10,21	10,45	126,56	137,80	20,25	22,05
	4	2005	35	5,15	5,67	27,57	33,44	9,45	11,47
		2006	42	6,50	6,11	41,72	44,50	11,92	12,71
		2007	59	8,32	8,39	74,40	88,90	15,13	18,08
		2008	75	9,39	9,47	107,47	121,93	17,20	19,51
	5	2005	35	5,37	6,01	29,65	35,71	10,17	12,24
		2006	42	6,57	6,38	46,14	46,71	13,18	13,35
		2007	59	8,26	8,36	74,74	88,81	15,20	18,06
		2008	75	9,36	9,51	105,61	122,53	16,90	19,60
	6	2005	35	5,15	5,52	29,40	32,87	10,08	11,27
		2006	42	6,70	6,11	48,23	45,17	13,78	12,90
		2007	59	9,00	8,54	87,65	92,32	17,83	18,78
		2008	75	10,21	10,36	130,35	137,27	20,86	21,96
	7	2005	35	5,97	6,45	35,30	38,44	12,10	13,18
		2006	42	7,29	7,08	50,85	52,19	14,53	14,91
		2007	59	9,71	9,40	92,36	100,40	18,79	20,42
		2008	75	10,84	11,05	138,16	144,12	22,11	23,06

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
58	8	2005	35	5,67	6,13	33,15	36,58	11,37	12,54
		2006	42	6,85	6,48	49,11	47,87	14,03	13,68
		2007	59	9,06	9,10	91,70	97,79	18,65	19,89
		2008	75	10,48	10,36	128,30	135,25	20,53	21,64
	9	2005	35	5,26	5,67	29,73	33,55	10,19	11,50
		2006	42	7,01	6,23	48,84	45,66	13,96	13,05
		2007	59	9,44	9,11	89,47	97,98	18,20	19,93
		2008	75	10,66	10,66	129,05	140,17	20,65	22,43
	10	2005	35	4,77	5,00	27,15	29,58	9,31	10,14
		2006	42	6,20	5,66	43,23	41,58	12,35	11,88
		2007	59	8,18	7,90	76,14	84,96	15,49	17,28
		2008	75	9,27	9,43	112,36	123,93	17,98	19,83
11	2005	35	4,91	4,78	27,55	28,28	9,44	9,70	
	2006	42	6,42	5,82	42,34	43,23	12,10	12,35	
	2007	59	9,04	8,38	81,94	91,03	16,66	18,51	
	2008	75	9,99	10,16	114,50	135,72	18,32	21,71	
12	2005	35	6,41	7,14	36,67	44,03	12,57	15,09	
	2006	42	7,54	7,58	52,93	57,17	15,12	16,33	
	2007	59	10,08	9,78	93,77	106,42	19,07	21,64	
	2008	75	10,97	11,40	135,91	151,47	21,75	24,23	

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
58	13	2005	35	6,19	6,08	37,55	34,76	11,92	12,87
		2006	42	7,19	7,48	54,29	52,61	15,03	15,51
		2007	59	9,99	9,96	109,54	94,52	19,22	22,28
		2008	75	10,94	10,73	146,24	130,93	20,95	23,40
	14	2005	35	6,84	6,69	41,48	38,61	13,24	14,22
		2006	42	7,92	8,20	59,69	57,78	16,51	17,05
		2007	59	9,53	9,59	104,20	88,14	17,93	21,19
		2008	75	12,12	12,14	165,33	148,14	23,70	26,45
	19	2005	34	4,97	5,60	31,09	34,37	12,13	10,97
		2006	41	6,72	7,68	50,13	56,88	16,65	14,67
		2007	57	9,88	10,32	94,88	99,65	20,98	19,98
		2008	70	11,46	10,92	125,21	118,07	20,24	21,46
	24	2005	34	3,42	4,30	21,14	26,11	9,21	7,46
		2006	41	5,15	6,13	38,23	44,75	13,10	11,19
		2007	56	7,82	7,94	75,12	76,64	16,42	16,10
		2008	70	8,91	8,56	97,20	94,17	16,14	16,66
	25	2005	34	6,00	6,53	38,24	44,14	15,58	13,50
		2006	41	7,82	8,35	59,19	67,55	19,77	17,33
		2007	56	10,50	10,61	101,85	107,43	23,02	21,83
		2008	70	12,07	11,94	132,98	139,76	23,96	22,80

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
58	26	2005	34	6,25	5,73	40,73	36,13	14,37	12,75
		2006	41	7,89	7,48	59,89	56,03	17,53	16,40
		2007	56	9,92	9,93	95,34	95,14	20,43	20,39
		2008	70	11,02	11,29	122,94	122,61	21,07	21,02
	27	2005	34	6,21	5,67	40,9	36,04	14,43	12,72
		2006	41	7,77	7,42	58,97	55,85	17,26	16,35
		2007	56	9,95	9,79	99,98	94,46	21,42	20,24
		2008	70	11,36	11,31	129,1	123,86	22,13	21,23
	41	2005	58	9,08	10,11	90,04	94,64	18,63	19,58
		2006	65	10,8	9,7	111,66	93,63	20,61	17,29
		2007	80	13,74	13,39	156,01	146,59	23,40	21,99
		2008	94	12,84	13,11	156,75	152,42	20,01	19,46
	42	2005	58	9,31	10,19	93,78	95,66	19,40	19,79
		2006	65	10,94	9,94	113,19	96,88	20,90	17,89
		2007	80	12,23	12,07	138,96	133,05	20,84	19,96
		2008	94	12,54	13,13	149,51	152,93	19,09	19,52
	43	2005	58	10,08	11,49	103,98	111,62	21,51	23,09
		2006	65	12,29	10,77	129,95	106,77	23,99	19,71
		2007	80	13,78	13,82	161,06	156,81	24,16	23,52
		2008	94	13,99	14,5	172,67	172,87	22,04	22,07

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano$)
58	44	2005	58	9,73	11,39	95,12	107,26	19,68	22,19
		2006	65	11,32	10,39	115,11	98,79	21,25	18,24
		2007	80	12,79	12,5	141,28	134,22	21,19	20,13
		2008	94	13,42	13,73	158,17	156,23	20,19	19,94
	45	2005	58	10,03	11,48	103,25	112,79	21,36	23,34
		2006	65	12,12	10,71	133,32	107,13	24,61	19,78
		2007	80	13,79	13,68	165,36	156,48	24,80	23,47
		2008	94	14,03	14,49	172,77	174,96	22,06	22,34
	46	2005	58	9,68	10,83	95,11	104,53	19,68	21,63
		2006	65	11,36	10,33	118,57	102,32	21,89	18,89
		2007	80	12,44	12,29	142,11	137,86	21,32	20,68
		2008	94	13,09	13,63	154,7	161,73	19,75	20,65
	47	2005	58	9,84	10,63	99,34	101,55	20,55	21,01
		2006	65	11,25	10,5	118,47	103,95	21,87	19,19
		2007	80	12,82	12,6	147,07	140,02	22,06	21,00
		2008	94	13,14	13,57	156,4	159,33	19,97	20,34
	48	2005	58	9,45	9,9	92,96	92,87	19,23	19,21
		2006	65	10,9	10,09	111,94	99,27	20,67	18,33
		2007	80	12,25	11,88	140,37	131,47	21,06	19,72
		2008	94	12,83	13,32	152,35	156,67	19,45	20,00

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
58	84	2005	46	9,86	10,02	94,78	85,64	24,73	22,34
		2006	53	11,22	10,91	115,61	102,78	26,18	23,27
		2007	68	13,05	12,97	149,06	142,39	26,30	25,13
		2008	82	13,92	14,32	182,32	170,03	26,68	24,88
	97	2005	58	9,88	10,52	97,12	100,25	20,09	20,74
		2006	65	11,02	10,54	112,44	104,68	20,76	19,33
		2007	80	12,72	12,16	144,26	134,52	21,64	20,18
		2008	94	12,96	13,66	152,59	161,35	19,48	20,60
	98	2005	58	7,93	8,21	76,52	74	15,83	15,31
		2006	65	9,27	8,46	90,48	80,07	16,70	14,78
		2007	80	10,99	10,38	121,5	111	18,22	16,65
		2008	94	11,39	11,63	132,1	133,17	16,86	17,00
	103	2005	46	7,42	7,15	63,22	58,59	16,49	15,28
		2006	53	8,93	8,22	82,21	74,95	18,61	16,97
		2007	68	10,37	10,31	108,83	110,44	19,21	19,49
		2008	82	11,2	11,38	126,68	131,78	18,54	19,28
62	37	2005	58	8,22	8,39	88,26	87,58	18,26	18,12
		2006	65	9,52	8,82	107,55	98,15	19,86	18,12
		2007	80	10,55	10,81	124,06	131,87	18,61	19,78
		2008	94	10,82	11,35	132,76	143,73	16,95	18,35

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
62	38	2005	58	9,16	9,75	105,66	102,13	21,86	21,13
		2006	65	10,97	9,82	124,38	109,37	22,96	20,19
		2007	80	12,46	12,46	151,29	152,29	22,69	22,84
		2008	94	12,81	13,41	166,34	170,06	21,23	21,71
	39	2005	58	9,22	9,53	106,55	100,34	22,05	20,76
		2006	65	11,04	9,88	122,73	110,68	22,66	20,43
		2007	80	13,17	12,79	159,32	156,73	23,90	23,51
		2008	94	13,54	13,9	175,36	176,58	22,39	22,54
	40	2005	58	7,73	7,76	81,21	80,18	16,80	16,59
		2006	65	9,17	8,29	101,28	91,64	18,70	16,92
		2007	80	10,19	10,27	115,12	124,92	17,27	18,74
		2008	94	10,81	11,13	131,6	140,58	16,80	17,95
	99	2005	58	8,46	8,67	94,28	89,61	19,51	18,54
		2006	65	9,81	8,93	104,95	98,55	19,37	18,19
		2007	80	11,49	11,15	135,59	135,52	20,34	20,33
		2008	94	12,08	12,55	148,34	158,67	18,94	20,26
	100	2005	58	9,71	9,92	109,77	103,35	22,71	21,38
		2006	65	11,24	10,41	127,96	115,7	23,62	21,36
		2007	80	12,85	12,74	157,33	155,26	23,60	23,29
		2008	94	13,42	13,86	172,23	175,46	21,99	22,40

Continua...

Tabela 2A – Cont.

Clone	Parcela nº	Ano	Idade (meses)	B (m^2ha^{-1})	B estimada (m^2ha^{-1})	V (m^3ha^{-1})	V estimado (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)	IMA estimado ($m^3ha^{-1}ano^{-1}$)
62	101	2005	58	9,43	9,45	112,34	99,26	23,24	20,54
		2006	65	11,05	10,1	122,07	113,17	22,54	20,89
		2007	80	13,16	12,49	161,22	153,01	24,18	22,95
		2008	94	14,14	14,23	193,83	180,86	24,74	23,09
	102	2005	58	8,07	8,26	86,19	86,55	17,83	17,91
		2006	65	9,78	8,65	108,05	96,57	19,95	17,83
		2007	80	11,09	11,06	130,19	135,4	19,53	20,31
		2008	94	11,54	11,99	147,47	152,18	18,83	19,43