

ANDREA NOGUEIRA DIAS

**MODELAGEM E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PLANTAÇÕES DE  
EUCALIPTO SUBMETIDAS A DESBASTES**

Tese 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  
2000

ANDREA NOGUEIRA DIAS

**MODELAGEM E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PLANTAÇÕES DE  
EUCALIPTO SUBMETIDAS A DESBASTES**

Tese 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: 3 de fevereiro de 2000.

---

Prof. João Carlos Chagas Campos  
(Conselheiro)

---

Prof. Laércio Couto  
(Conselheiro)

---

Prof. Carlos Pedro Boechat Soares

---

Prof. Márcio Lopes da Silva

---

Prof. Helio Garcia Leite  
(Orientador)

A Deus.

Ao meu pai, Carlos.

À minha mãe, Elena.

## AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que, por intermédio do Departamento de Engenharia Florestal, possibilitaram a realização deste curso.

À Empresa COPENER FLORESTAL, em especial, ao engenheiro florestal Nascimento, pela concessão dos dados necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Helio Garcia Leite, por sua participação no aconselhamento seguro, compartilhando comigo os seus sábios conhecimentos, o que veio facilitar e viabilizar a concretização deste trabalho.

Ao professor João Carlos Chagas Campos, pela disposição em dividir suas experiências, que vieram enriquecer sobremaneira o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Laércio Couto, pelas contribuições dadas a este estudo, pelo estímulo e pelos conselhos na defesa de tese.

Ao professor Carlos Pedro Boechat Soares, pelas valiosas sugestões e pela colaboração na defesa de tese.

Ao professor Márcio Lopes da Silva, por sua contribuição na análise econômica deste trabalho, com importantes recomendações.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial à Rita C. Silva Alves (Ritinha da Pós-Graduação), pela simpatia e dedicação; e ao Francisco Luís e José Mauro Gomes (Biblioteca -

SIF), pela atenção constante e competência na disponibilização dos materiais bibliográficos, o que muito facilitou os trabalhos de pesquisa.

Aos meus colegas do Curso de Ciência Florestal, em especial ao Alexandre, Geraldo, Gilciano, Marquinhos e Rogério, pelo apoio, pela amizade e pela colaboração no decorrer do curso.

À Silvana Lages Ribeiro Garcia, meu reconhecimento e minha gratidão por sua amizade e, mais ainda, pela sua decisiva presença na definição da minha vida profissional.

A Celice, Marinna, Branquinho, Eliane, Grazi, Elcione, Fernanda, Jéssica e Érika, meus amigos de todas as horas.

Aos meus avós e aos meus tios, pelas calorosas acolhidas.

À Elena e ao Carlos, meus pais, a quem devo tudo o que conquistei na vida.

Aos meus irmãos, Júnior, Adriel e Aline, companheiros inseparáveis durante esta caminhada.

Ao meu namorado, pelo companheirismo, pelo incentivo e pela dedicação.

A todos aqueles que, de forma anônima, deram suas parcelas de contribuição, o que facilitou a concretização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Andrea Nogueira Dias, filha de Carlos Roberto Dias e Maria Elena Nogueira Dias, nasceu em João Monlevade, Minas Gerais, em 22 de novembro de 1973.

Em 1991, concluiu o 2<sup>o</sup> grau na Escola Estadual Fernando Otávio, em Pará de Minas, Minas Gerais.

Em 1992, ingressou no Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, graduando-se em julho de 1997.

Em agosto de 1997, iniciou o Curso de Mestrado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, voltado para a área de manejo florestal, defendendo tese em 3 de fevereiro de 2000.

Atualmente, encontra-se cursando o Doutorado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa.

## CONTEÚDO

	<b>Página</b>
EXTRATO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Desbaste .....	4
2.1.1. Efeitos dos desbastes .....	6
2.2. Modelagem de plantações de eucalipto no Brasil .....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	15
3.1. Informações quanto à origem dos dados .....	15
3.2. Caracterização do experimento .....	16
3.3. Modelo volumétrico .....	17
3.4. Modelo hipsométrico para parcelas não-desbastadas .....	19
3.5. Modelo hipsométrico para parcelas desbastadas .....	19
3.6. Capacidade produtiva .....	20
3.7. Crescimento e produção .....	22
3.8. Simulação de desbastes e avaliação econômica .....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
4.1. Volumes das árvores individuais .....	26

	<b>Página</b>
4.2. Altura total .....	28
4.3. Capacidade produtiva .....	29
4.3.1. Método da curva-guia.....	29
4.3.2. Método das curvas correlacionadas.....	32
4.3.3. Método da predição de parâmetros.....	35
4.3.4. Comparação dos métodos de classificação da capacidade produtiva.....	39
4.4. Crescimento e produção .....	41
4.5. Simulação de desbastes e avaliação econômica .....	49
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	56
6. RECOMENDAÇÕES .....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
APÊNDICES .....	65
APÊNDICE A .....	66
APÊNDICE B .....	68

## RESUMO

DIAS, Andrea Nogueira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2000.  
**Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes.** Orientador: Helio Garcia Leite. Conselheiros: João Carlos Chagas Campos e Laércio Couto.

O presente trabalho teve por objetivos avaliar a eficiência do modelo de Clutter (1963) em prever o crescimento e a produção de povoamentos desbastados de eucalipto e avaliar economicamente diferentes intensidades de desbaste. O estudo foi desenvolvido com dados de um experimento sobre desbastes, implantado em povoamentos de eucalipto pertencentes à COPENER FLORESTAL Ltda., localizados na região norte da Bahia. O experimento foi composto por quatro tratamentos, correspondendo a diferentes porcentagens de área basal removida, estabelecidos em blocos casualizados, com duas repetições por bloco, localizados de forma seletiva em três locais de capacidades produtivas diferentes, num total de 48 parcelas, com área média de 2.600 m<sup>2</sup> cada uma. As medições foram realizadas aos 27, 40, 50, 58, 61 e 76 meses de idade, e na ocasião da quarta medição, aos 58 meses, foi realizado o desbaste. Em cada medição, foram registrados a altura e o diâmetro da copa, a altura total da maioria das árvores e o Dap de todas as árvores das parcelas. Inicialmente, foi determinada a capacidade produtiva do local, utilizando o método da curva-guia, considerado mais eficiente que os

métodos das curvas correlacionadas e da predição de parâmetros. Para obtenção da produção por área, empregou-se o modelo de Clutter (1963). Foram elaboradas tabelas de produção de densidade variável, com simulações de desbastes, a partir das quais foram determinados os volumes desbastados e colhidos no corte final para as diferentes intensidades. Para analisar os aspectos técnico e econômico das diferentes intensidades de desbaste, cada uma foi considerada como um projeto, utilizando-se dados de custos e receitas obtidos com a colheita intermediária (desbastes) e com a colheita final de cada um. Na avaliação econômica, os projetos foram comparados, empregando-se o critério do benefício periódico equivalente (BPE). Constatou-se que as diferenças nas intensidades de retirada em área basal não influenciaram a produção volumétrica total. Maiores intensidades de desbaste ocasionaram postecipação da idade de corte final, isto é, da idade de rotação técnica, e em termos econômicos ocasionaram diminuição dos benefícios (BPE). Tal fato ocorreu, principalmente, devido ao preço estipulado para a madeira do corte final, que não levou em consideração as mudanças qualitativas ocorridas no povoamento com a aplicação do desbaste. O modelo de Clutter mostrou-se eficiente para prognose em plantações desbastadas de eucalipto.

## ABSTRACT

DIAS, Andréa Nogueira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, May 2000.  
**Modeling and economic evaluation of plantations of eucalypts submitted to thinnings.** Adviser: Helio Garcia Leite. Committee Members: João Carlos Chagas Campos and Laércio Couto.

The objective of the present work was to evaluate the efficiency of the Clutter model (1963) to predict the growth and yield of thinned stands of eucalypts and to economically evaluate various thinning intensities. The study was developed with data of an essay about thinnings established in stands of eucalyptus belonging to the Copener Florestal Ltda., located in the Northern Region of the Bahia State, Brazil. The essay was composed by four treatment, which correspond to different percentages of removed basal area, designed in randomized blocks, with two repetitions per block, located in a selected way in three places with different productive capacities, at a total of 48 plots, with a mean area of 2,600 m<sup>2</sup> each. The mensurations were made at the age of 27, 40, 50, 61, and 76 months, and on the fourth mensuration, at 58 months, the thinning was done. In each mensuration, the height and diameter of the crown, the total height of almost all trees, and the DBH of all of the trees of the plots were recorder. First of all, the local productive capacities were checked, using the lead-curve method, which is considered to be more efficient than the methods of correlated curves and of prediction of parameters. To obtain the

production per area, the Clutter model (1963) was used. Production tables with variable densities were made, with simulations of thinnings, from which the thinned and harvested volumes at the final cut were determined for the various intensities. For the analysis of the technical and economic aspects of the various intensities of thinnings, each one was considered as a single project, using data of outputs and incomes obtained with the intermediate harvest (thinnings) and with the final harvest in each case. For the economic evaluation the projects were compared, using the criteria of the equivalent periodic benefit (BPE). It was found that the differences on the intensities of removals in based area did not influence the total volumetric production. Greater thinning intensities caused a delay of the final cutting age, or, of the technical rotation age, and, in terms of economy, this decreased benefits (BPE). This fact occurred, mainly, due to the price fixed for wood of final cut, which did not consider the qualitative changes occurring in the stand with the thinning. The Clutter model showed to be efficient for predictions in thinned eucalyptus stands.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso da madeira proveniente de florestas de *Pinus* e de *Eucalyptus*, caracterizadas pelo rápido crescimento, é uma alternativa viável para aliviar a pressão sobre as florestas nativas. Essa pressão é causada pelo aumento da demanda por produtos madeireiros de melhor qualidade, com dimensões adequadas e em quantidade suficiente para atender às exigências do mercado.

Torna-se, então, necessária e urgente a busca de tecnologias para aprimorar a produção de madeira, empregando-se técnicas silviculturais apropriadas para cada situação. Neste caso, o desbaste pode ser usado com o objetivo de aumentar a produção de madeira comercializável, melhorando a qualidade das árvores remanescentes e elevando a rentabilidade do investimento.

Uma alternativa para quantificar o efeito do desbaste sobre a produção de madeira consiste no emprego de modelos de crescimento e produção. Esses modelos são geralmente construídos de acordo com duas filosofias diferentes: i) modelos empíricos e ii) modelos com base em processos. Modelos do primeiro tipo são construídos mediante a utilização de dados de parcelas permanentes e são usados com frequência para propósito de manejo florestal.

Por outro lado, modelos com base em processos são desenvolvidos por meio de processos físicos e biológicos e, em geral, são idealizados para avaliar causas. Modelos empíricos, desenvolvidos com base em características

do povoamento, que contemplam a área basal ou a distribuição diamétrica, são indicados quando o objetivo é a simulação de regimes de desbastes. Esses modelos, especialmente o de CLUTTER (1963), têm sido utilizados com freqüência para o manejo de plantações não-desbastadas de eucalipto no Brasil. Contudo, nenhuma experiência foi registrada ainda sobre o uso deste modelo para manejo de plantações desbastadas de eucalipto.

Dessa forma, torna-se importante a condução de experimentos com aplicação de tratamentos de desbastes. Assim, foi idealizado este estudo, com o propósito de contribuir para o manejo de plantações desbastadas de eucalipto, tendo como objetivos:

- Analisar a eficiência do modelo proposto por CLUTTER (1963) para predição do crescimento e produção em plantações de eucalipto submetidas a desbastes.
- Construir tabelas de produção de densidade variável para plantações de eucalipto, com e sem desbastes.
- Apresentar um procedimento para avaliação técnica e econômica de diferentes intensidades de desbaste em plantações de eucalipto, empregando um modelo de crescimento e produção.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A pesquisa florestal tem buscado novas técnicas para o aumento da produtividade das florestas, visando as mais variadas aplicações, sempre tendo como pré-requisitos a sua praticidade e economicidade.

As plantações de eucalipto no Brasil foram sempre manejadas sem a condução de desbastes. Porém, nos últimos anos tem sido freqüente a busca de informações sobre o manejo de plantações de eucalipto submetidas a desbastes. Essa busca está relacionada com uma visão moderna de manejo integrado, resultado da necessidade de obter multiprodutos da madeira e, ao mesmo tempo, reduzir as áreas de corte em florestas nativas. Muitas especulações têm sido divulgadas, na maioria das vezes, como resultado de estudos empíricos, sendo escassos os estudos consistentes a respeito do efeito dos desbastes e as suas contribuições efetivas para a rentabilidade dos empreendimentos florestais, bem como da redução da pressão sobre os remanescentes nativos. Algumas considerações sobre a prática silvicultural “desbaste”, bem como algumas inferências, fatos e hipóteses sobre a modelagem de plantações de eucalipto, foram incluídas em itens subseqüentes.

## 2.1. Desbaste

À medida que as árvores crescem, suas copas e raízes necessitam progressivamente de maior espaço para a continuidade do crescimento em diâmetro. Não havendo mais espaço para o crescimento, inicia-se a competição intra-específica, e não havendo nenhuma interferência, essa competição irá resultar na morte dos indivíduos menos aptos. Embora muitos textos clássicos, como SMITH (1962), reportem como objetivo do desbaste a antecipação da mortalidade, parece mais lógico afirmar que o objetivo seja manter um conjunto de árvores crescendo sempre livre de competição por luz e nutrientes. Por sua vez, esse conjunto de árvores é definido pelos objetivos do manejo e, em geral, deseja-se produzir árvores de maior porte e de melhor qualidade. Portanto, pode-se inferir que os objetivos do desbaste são concentrar o potencial de crescimento em árvores que atingirão as maiores dimensões e reduzir a competição entre elas, evitando, com isso, a utilização de nutrientes e água por indivíduos menos aptos.

Por meio dos desbastes, pode-se aumentar a área basal individual, devido ao aumento do espaço vital e à maior disponibilidade de luz e nutrientes, compensando-se a retirada de árvores menores e mantendo a área basal total do povoamento quase inalterada, obtendo, no final, árvores de maiores diâmetros (GLUFKE et al., 1997).

A seleção das árvores a serem retiradas é feita com base em características como as suas posições relativas e as condições de suas copas, no vigor e na sanidade das árvores e, também, na qualidade e forma dos seus troncos (SMITH, 1962). A posição relativa e o vigor das copas das árvores são os sinais mais aparentes da competição (VALE et al., 1984).

Uma classificação das árvores com relação à posição relativa das suas copas, utilizada com mais frequência, é:

- *árvores dominantes*, quando as copas se estendem acima do nível geral do dossel do povoamento, recebendo luz direta na sua parte superior e parcial nas laterais;

ii) *codominantes*, quando recebem luz direta na parte superior e pouca luz lateralmente;

iii) *intermediárias*, quando as copas se estendem entre as copas das árvores dominantes e codominantes, recebendo pouca luz na parte superior e nenhuma luz lateralmente; e

iv) *suprimidas*, quando as copas recebem apenas luz difusa (SMITH, 1962).

Com base nesta classificação, podem ser definidos os tipos de desbastes.

SMITH (1962) definiu desbaste seletivo como aquele em que as árvores dominantes (normalmente bifurcadas ou defeituosas) são colhidas, a fim de estimular o crescimento das árvores inferiores; desbaste por cima quando são removidas as árvores das classes de copas mediana e superior, com a finalidade de favorecer o desenvolvimento de muitas árvores promissoras dessas mesmas classes; desbaste por baixo como aquele em que as árvores colhidas pertencem às classes de copa inferiores, visando favorecer as árvores das classes superiores; desbaste sistemático, em que as árvores são colhidas com pouca ou nenhuma referência quanto à sua posição relativa no dossel do povoamento; e desbaste livre ou misto, que é normalmente uma combinação de outros métodos.

Por outro lado, ROLLINSON (1988) classificou os tipos de desbastes em apenas dois, seletivo e sistemático. Conforme o autor, o desbaste seletivo pode ser por baixo (*low thinning*) ou por cima (*crown thinning*). No primeiro caso são colhidas árvores suprimidas e intermediárias, para favorecer árvores dominantes e codominantes, e no segundo, são colhidas árvores codominantes e dominantes, com o objetivo de favorecer o crescimento de árvores destas mesmas classes; no desbaste sistemático, as árvores são colhidas sem considerar a posição das árvores no dossel de copas. Diante dessas definições, no presente estudo foi adotada a seguinte classificação:

- *Desbaste seletivo*: remoção seletiva de árvores, de acordo com algum critério ou pressuposição, variável de acordo com o propósito a que se destina a produção.

- *Desbaste sistemático*: remoção sistemática de árvores, independente de sua posição relativa. Mais adequado para povoamentos uniformes, como no caso de alguns povoamentos clonais. A sistematização pode ser feita por fileiras de árvores ou por árvores individuais.

- *Desbaste misto*: qualquer tipo de combinação de desbaste sistemático e seletivo.

Pode-se inferir, ainda, que em povoamentos heterogêneos deve-se adotar o desbaste seletivo ou, se necessário, um desbaste misto, com a sistematização necessária e suficiente para viabilizar a colheita das árvores.

Conceitos como *grau*, *intensidade* e *ciclo* têm gerado interpretações conflitantes. Em alguns casos, o termo intensidade é usado para definir a quantidade colhida, quantas vezes e em que intervalos ela é realizada. Em outros casos, o termo grau é utilizado como referência de porcentagem de área basal, número de árvores ou volume colhido. Por sua vez, o ciclo de desbastes tem sido definido como o intervalo médio entre dois desbastes sucessivos. Tais conceitos podem ser comprovados nos trabalhos de FISHWICK (1976), FLOR (1984), SMITH (1962), VALE et al. (1984), dentre outros.

Segundo FERREIRA (1986), a palavra intensidade refere-se à quantidade ou força. O verbo intensificar, por exemplo, significa tornar intenso ou mais intenso, ou seja, mais forte, excessivo. A palavra grau, do latim “gradu”, significa, passo, cada um dos pontos ou estágios sucessivos de uma progressão, cada uma das divisões de uma escala de medidas quantitativas. Logo, o termo *grau* não deve ser utilizado para se referir à porcentagem de desbastes. Portanto, neste trabalho, adotou-se a seguinte terminologia:

- *Intensidade de desbaste*: quantidade de madeira desbastada, podendo ser expressa em área basal (% ou m<sup>2</sup>), número de árvores (% ou n<sup>o</sup>) ou volume (% ou m<sup>3</sup>).

- *Ciclo de desbaste*: intervalo de tempo entre desbastes sucessivos.

### **2.1.1. Efeitos dos desbastes**

O efeito principal dos desbastes é estimular o crescimento em diâmetro das árvores remanescentes, que é afetado pela densidade do povoamento. Portanto, após um desbaste, as árvores de uma mesma classe diamétrica, em curto espaço de tempo, podem ingressar em classes diamétricas superiores (SCHNEIDER, 1993). Quanto mais espaçadas

estiverem as árvores, mais rápido, dentro de certo limite, será o incremento do diâmetro.

A competição entre as árvores é um dos fatores que mais influenciam a dinâmica de povoamentos florestais (Schönau e Coetzee 1989, citados por LISITA, 1997).

Os desbastes influenciam o crescimento e a forma das árvores pela redução da competição e pela alteração do meio ambiente, de tal forma que este fica mais favorável aos processos que determinam o crescimento das árvores remanescentes. Em geral, resultam em aumento do diâmetro dos troncos das árvores remanescentes e não da altura dominante (Kramer e Koslowsy, 1972, citados por SPINA-FRANÇA, 1989). Estudos feitos em povoamentos desbastados indicam que o diâmetro das árvores aumentam mais rapidamente quando comparados com o das árvores de povoamentos não-desbastados (Clutter, 1983, citado por CAMPOS, 1986b).

Daniel et al. (1976), citados por LISITA (1997), consideram que um pequeno aumento na densidade do povoamento pode resultar em redução considerável no diâmetro médio do povoamento. Este autor observou que uma pequena redução na área basal também leva ao aumento no diâmetro médio. Tal diferença torna-se mais pronunciada com o aumento da idade.

Após a aplicação de um desbaste, as árvores remanescentes retomam o crescimento em diâmetro, e com o passar dos anos o ritmo de crescimento vai diminuindo, até atingir uma idade em que ocorre um novo início de estagnação. Nesse momento, deve-se efetuar um novo desbaste ou, então, o corte final do povoamento.

O efeito dos desbastes no potencial de crescimento das árvores de uma floresta ocorre principalmente em função da área ocupada pelas raízes das árvores e pela disponibilidade de nutrientes e água (VALE et al., 1984). Em princípio, o maior espaço oferecido pelo desbaste promove o crescimento mais intenso das árvores remanescentes.

Após cada desbaste, a abertura do espaço e a conseqüente redução da competição deverão estimular o crescimento das copas e o volume dos fustes das árvores remanescentes, com progressivo ganho de qualidade genética das sementes, pelo cruzamento entre as árvores superiores, podendo

essas populações ser transformadas em área de produção de sementes (APS) (SIMÕES e FERREIRA, 1997).

Os desbastes devem ser feitos para que as árvores remanescentes tenham condições adequadas de aproveitamento do nitrogênio liberado da cadeia carbônica. Os demais nutrientes, fósforo, potássio, cálcio e outros, já existem em condições de aproveitamento. Existirá uma idade em que as árvores estarão em plena fase de competição, a ponto de o meio edafoclimático se colocar em condições impotentes para suprir todas elas. Nessa idade, o povoamento estará entrando em estagnação, sendo este o momento ideal para realização do desbaste (VEIGA, 1976).

Os desbastes, além de produzir benefícios à qualidade da madeira, evitam perdas devido ao não-aproveitamento das árvores que morreriam naturalmente, concentram a produção em indivíduos mais promissores e, ainda, podem produzir rendas intermediárias durante o ciclo de corte do povoamento. A melhor maneira de pagar os custos de implantação de uma floresta é utilizar os recursos obtidos com os desbastes (SMITH, 1962).

Apesar dessas considerações, a carência de pesquisas que norteiem as operações de desbastes tem impedido a definição adequada quanto à escolha e idade das árvores a serem desbastadas, bem como a escolha da intensidade e do número de desbastes para cada local e espécie (BERTOLOTTI et al., 1983). Informações sobre a taxa de retorno a ser obtida com a adoção dos desbastes são escassas, principalmente para povoamentos de eucalipto. Desbastes não têm sido uma prática usual em plantações de eucalipto, no Brasil. Além disto, na maioria das vezes o intervalo e a intensidade têm sido definidos de modo empírico (ANDRADE, 1961; VEIGA, 1962; STAPE e MARTINI, 1991; entre outros).

Um método mais eficiente para definição do intervalo de desbastes foi divulgado por NOGUEIRA (1999), com base em um método originalmente proposto por GARCIA (1999). Nesse trabalho, o momento de efetuar o primeiro desbaste, bem como o intervalo de tempo entre os desbastes sucessivos, foi determinado com base na dinâmica de crescimento e no ingresso de árvores em sucessivas classes de diâmetros. Conforme NOGUEIRA (1999), essa metodologia apresenta como principal vantagem o fato de não se basear em decisões empíricas e, além disto, de poder ser utilizada em experimentos com

características diferentes, como qualidade de sítio e objetivos de manejo. Essa metodologia, denominada método dos ingressos percentuais, foi aplicada com sucesso em plantações de eucalipto localizadas na região nordeste da Bahia, pertencentes à empresa COPENER FLORESTAL Ltda., como parte dos estudos sobre manejo integrado de eucalipto, que vêm sendo conduzidos pela empresa desde 1992.<sup>1</sup>

## **2.2. Modelagem de plantações de eucalipto no Brasil**

O termo modelagem é utilizado para se referir a estudos e aplicações típicos da mensuração florestal, relacionado com a estimação da produção dos povoamentos florestais.

Inicialmente, é oportuno diferenciar os tipos de modelagem que podem ser utilizados. Alguns modelos são denominados empíricos, enquanto outros são denominados de processos. No primeiro caso, a produção está relacionada às características da população, por meio de modelos de regressão. Modelos desse tipo são utilizados com frequência em manejo florestal. No segundo, as variáveis ambientais são utilizadas em modelos de simulação, o que permite avaliar causas e efeitos, porém, algumas vezes eles resultam em estimativas pouco precisas.

No Brasil, persiste o uso de modelos que relacionam a produção com as características dos povoamentos, principalmente os modelos em nível de povoamento. Outros modelos dessa categoria são: modelos de distribuição diamétrica e modelos de árvores individuais.

Em virtude das características gerais descritas para as categorias de modelos existentes, em que o aumento da flexibilidade de uso está associado à dificuldade de ajustamento e ao custo, tornam-se necessários estudos que resultem em modelos flexíveis e de fácil ajustamento. Portanto, é oportuno ressaltar que, por se tratarem de funções estatísticas, quando se avaliam modelos de crescimento e produção o que se procura não é a verdade absoluta sobre a veracidade ou falsidade do modelo, mas sim se o modelo

---

<sup>1</sup> LEITE, H.G. Comunicação pessoal. Viçosa-MG: DEF/UFV, 1999.

será útil para o propósito em questão, isto é, para o manejo florestal (Dennis et al., 1985, citados por CAMPOS, 1986a).

A seguir, será apresentado um resumo histórico de modelos de crescimento e produção ajustados para plantações de eucalipto no Brasil. Certamente, não foram incluídos todos os estudos sobre modelos de crescimento e produção, mas, nesta abordagem, estão mencionados alguns dos mais importantes trabalhos desenvolvidos nesse campo, até o ano de 1999.

Inicialmente, merece destaque o estudo desenvolvido por TREVIZOL JÚNIOR (1985), em que foi utilizado o modelo de crescimento e produção proposto por CLUTTER (1963). Nesse estudo, foram utilizados dados provenientes de parcelas permanentes de plantações não-desbastadas de *Eucalyptus grandis*, localizadas na região de Bom Despacho-MG. Para comprovar sua eficiência em estimar a produção em volume e área basal, foram construídas tabelas de produção de densidade variável, tendo sido incluídos exemplos ilustrativos do emprego desse modelo, segundo diferentes alternativas de manejo, entre elas simulações de desbaste.

A interpretação do efeito da capacidade produtiva na rotação técnica foi reportada por CAMPOS e RIBEIRO (1987). Nesse estudo, conduzido em plantações de *Eucalyptus grandis*, a produção futura em área basal foi obtida por meio da idade, do índice de local e do diâmetro médio.

Em 1988, foi divulgada uma das primeiras experiências sobre o uso do modelo de BUCKMAN (1962). CAMPOS et al. (1988) ajustaram esse modelo para povoamentos de *Eucalyptus grandis*, da região de Carbonita - MG.

Foram construídas tabelas de produção com níveis diferenciados de áreas basais iniciais, demonstrando o seu efeito na produção dos povoamentos e na rotação técnica. Com o intuito de ilustrar a flexibilidade do modelo, foram feitas simulações de desbaste na tabela de produção.

Para comparar o efeito dos espaçamentos na produção, em peso e volume de eucalipto, e, conseqüentemente, nos seus incrementos, o modelo de crescimento e produção simplificado de Chambers (1980), citado por SOUZA (1988), foi ajustado a dados de parcelas permanentes de eucalipto na região de Carbonita-MG. Esse modelo requer a estimação do incremento em área basal, cujo somatório dos incrementos anuais é substituído na equação

de produção em volume, permitindo a construção de uma tabela de produção empírica que poderá ser implementada de forma a prever a produção numa idade mais avançada. Mesmo não sendo compatível matematicamente, o modelo foi considerado consistente, por resultar em estimativas não-tendenciosas da produção futura.

Utilizando outra categoria de modelo, ou seja, fundamentado em distribuições diamétricas, LEITE (1990) ajustou a função de densidade de probabilidade Weibull a dados de parcelas permanentes de *Eucalyptus saligna*, pertencentes à Cia. Suzano de Papel e Celulose. Para projetar a distribuição diamétrica, empregou as estimativas dos parâmetros da fdp, obtidos a partir de equações de regressão, relacionando de forma direta ou indireta as características do povoamento aos parâmetros da função. O sistema de equações permitiu a elaboração de tabelas de produção para diferentes combinações de idade, índice de local e densidade, com a vantagem de ter informações sobre a produção total e informações sobre o porte das árvores, permitindo simular alternativas diferentes de manejo.

Nem sempre a idade técnica de corte dos povoamentos florestais coincide com a idade econômica de corte. Nesta linha de pesquisa, RESENDE (1991) desenvolveu um sistema computacional, utilizando informações de custo e receita dos projetos, com o objetivo de determinar as idades técnica e econômica de corte a partir de projeções de volume e área basal proporcionadas pela utilização do modelo de CLUTTER (1963).

O sistema computacional desenvolvido permitiu simular e comparar técnica e economicamente alternativas de manejo, sendo possível criar diferentes cenários para estudo, o que viabiliza a implicação desses resultados em estratégias a serem adotadas no planejamento florestal.

A técnica denominada mínimos quadrados em três estágios é considerada a mais eficiente para ajustar o modelo de CLUTTER (1963), de acordo com o estudo feito por PECE DE RIOS (1993) em povoamentos de *Eucalyptus pellita*. Além de construir tabela de produção mediante o emprego de diferentes combinações de índice de local e área basal inicial, as equações do sistema de predição foram utilizadas para examinar diferentes situações de manejo, combinando densidade, idade de rotação e regime de desbaste.

Para analisar o efeito individual das variáveis idade, índice de local e área basal na determinação da idade técnica de corte, foi conduzido um estudo por ROSAS (1994). Os modelos utilizados diferenciaram-se pela inclusão dessas variáveis, e a idade de corte foi definida quando a curva de incremento médio mensal (IMM) igualou-se ao incremento corrente mensal (IMM). O autor concluiu que o aumento do número de variáveis proporciona maior precisão na determinação da idade técnica de corte, posto que o modelo que contém área basal, além da idade e do índice de local, permite construir uma tabela de produção de densidade variável e inferir a respeito de níveis diferenciados de áreas basais iniciais para diferentes índices de local.

Uma metodologia inovadora para obter estimativas de produção por classe diamétrica foi desenvolvida por GUIMARÃES (1994). O modelo desenvolvido por esse autor simula alterações nas estruturas horizontais e verticais do povoamento ao longo do tempo, o que garante a compatibilidade dos resultados. Por ser um método do tipo invariante, as projeções do crescimento podem ser efetuadas tanto para idades futuras quanto para idades passadas; a predição da produção é feita para uma parcela ou para todo o povoamento com base na estrutura do próprio povoamento numa idade mínima qualquer; e os resultados permitem reproduzir, integralmente, os inventários nas idades analisadas. Além disto, toda a estrutura do povoamento é analisada, o que permite simular desbastes, por meio de interferências realizadas na estrutura do povoamento, comparando-se as respostas obtidas com as simulações com as tendências esperadas de crescimento.

Além de modelos diferenciados pela inclusão das variáveis idade e índice de local, CAMPOS (1997) utilizou, também, o sistema preditivo desenvolvido por Clutter, para estimar o crescimento e a produção por segmentos preestabelecidos da distribuição de diâmetros (percentis). Os modelos de percentis associados a tabelas do tipo densidade variável, construídas a partir do modelo de Clutter, permitiram estudar a produção até diferentes diâmetros percentis, sendo possível, segundo o autor, medir o volume existente até cada um desses diâmetros e entre eles, isto é, obter de forma segmentada o volume entre diâmetros previstos.

Algumas modificações foram observadas nos estudos que envolvem os modelos de crescimento e produção, podendo citar o estudo desenvolvido por LISITA (1997), que trabalhou com dados de um experimento de reespaçamento em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, empregando o modelo de Clutter com inclusão da variável binária TX, que fornece o volume total sem casca e com casca. Para utilizar áreas basais iniciais coerentes com os valores reais do povoamento e compatíveis com a capacidade produtiva do local, ajustou-se um modelo de predição da área basal inicial em função do índice de local. O modelo de Clutter permitiu a construção de tabelas de produção de densidade variável e curvas de crescimento em volume para os diferentes reespaçamentos, com determinação da idade técnica de corte. Considerou-se a possibilidade de o modelo de Clutter não conseguir prever a estagnação da produção quando não há mais fatores de crescimento no meio, quando os efeitos dos reespaçamentos na produção volumétrica foram analisados.

Com o objetivo de desenvolver um modelo para o gerenciamento da produção de madeira que leva em consideração fenômenos climatológicos, SOARES (1999) propôs a inclusão da variável precipitação defasada em um ano no modelo de Clutter, procurando manter a compatibilidade entre o crescimento e a produção. Utilizou dados de parcelas permanentes pertencentes à COPENER FLORESTAL Ltda. e informações de precipitação e temperatura do Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE). Apesar da possibilidade de usar o modelo de Clutter modificado pela inclusão de variáveis climáticas para estimar a produção em volume e área basal para diferentes cenários, o autor menciona que a compatibilidade entre o crescimento e a produção será verificada com o modelo proposto se a mesma precipitação anual ocorrer durante o período previsto para a prognose. Além disto, o uso correto do modelo só será possível se as probabilidades de ocorrência e a periodicidade das precipitações forem conhecidas.

Apesar de a função Weibull ser considerada a mais empregada em modelos de distribuição diamétrica ajustados a povoamentos equiâneos, no trabalho desenvolvido por NOGUEIRA (1999), com dados de experimento de desbastes em eucalipto, a função logística foi considerada a mais adequada para projetar a distribuição de diâmetros em idades mais avançadas. Essa

projeção foi posteriormente utilizada na metodologia proposta por GARCIA (1999), para calcular os ingressos percentuais de árvores nas diferentes idades, a fim de determinar o momento em que o ingresso de árvores em sucessivas classes diamétricas não seja significativo. Para estudar essa significância, optou-se por ajustar um modelo expolinear, sendo a estimativa do parâmetro que indica a mudança da fase linear para a fase exponencial definida como o momento ótimo de realização do desbaste. Essa metodologia foi considerada vantajosa pelo autor, por apresentar uma visão detalhada da estrutura do povoamento, antes e após o desbaste, contemplando a dinâmica de crescimento e ingresso de árvores de porte comercial, e por não se basear em decisões empíricas. Além disto, a época de aplicar o desbaste pode ser definida pelo menos um ano antes da idade técnica de desbaste.

Um exemplo de aplicação de um sistema de crescimento e produção com simulador de desbastes em povoamentos desbastados de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi o estudo desenvolvido por SCOLFORO e MACHADO (1996), utilizando um conjunto de modelos que estimou o volume e a área basal por unidade de área e, também, a sobrevivência, antes de ocorrer o primeiro desbaste, podendo as equações geradas ser implementadas para gerar informações de crescimento e produção por classe diamétrica, em associação com a função Weibull. Para possibilitar a simulação de desbastes, foram analisadas variáveis como proporção de árvores e de área basal removidas, razões de diâmetro e idade de desbaste, tendo a simulação sido feita pelo “software” simulador de desbastes.

Dessa abordagem, observa-se a necessidade de informações a respeito da modelagem do crescimento e da produção em povoamentos desbastados de eucalipto, uma vez que os trabalhos que incluem esta técnica nas suas avaliações o fazem, na maioria das vezes, de modo empírico, por estarem utilizando dados de povoamentos não-desbastados para fazer as simulações. Logo, torna-se oportuno a realização deste trabalho, que busca contribuir para o manejo de plantações desbastadas de eucalipto no Brasil.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Informações quanto à origem dos dados

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de um experimento de desbaste estabelecido em povoamentos do híbrido *Eucalyptus urophylla* vs *Eucalyptus grandis*, pertencentes à empresa COPENER FLORESTAL Ltda., localizada na região nordeste da Bahia, com sede na cidade de Alagoinhas. Pelo fato de esses dados estarem diversificados em projetos com localização distinta, projetos A e B instalados no município de Inhambupe-BA e projeto C no município de Esplanada-BA, as informações adicionais relacionadas a seguir são pertinentes:

Projetos	Latitude Média (°)	Longitude Média (°)	Altitude Média (m)	Precipitação Média Anual (mm)
A	11° 52'	38° 32'	285	900
B	12° 03'	38° 28'	290	1.100
C	11° 47'	37° 55'	150	1.200

### 3.2. Caracterização do experimento

O experimento foi instalado em setembro de 1995, quando os povoamentos estavam com 27 meses. Os espaçamentos utilizados foram de 3,5 m x 2,6 m, para os projetos A e C, e 2,9 m x 3,0 m, para o projeto B. Esse experimento constou de quatro tratamentos, em três instalações (*installations*), com dois blocos em cada instalação, cada um com duas repetições, totalizando 48 parcelas, com cerca de 2.600 m<sup>2</sup> de área útil cada uma. O croqui do experimento está no Apêndice B. Os tratamentos aplicados foram:  $T_1$  = 20% de desbaste;  $T_2$  = 35% de desbaste;  $T_3$  = 50% de desbaste; e  $T_4$  = 35% de desbaste + desrama. A retirada das árvores baseou-se na redução da área basal. Cabe ressaltar que no desbaste de 20% de retirada em área basal foram retiradas, em média, 106 árvores, o equivalente a 31% das árvores das parcelas; no desbaste de 35%, a média foi de 157 árvores, ou seja, 47% das árvores; e no desbaste de 50%, foram retiradas, em média, 204 árvores, o equivalente a 60% das árvores das parcelas

O primeiro desbaste foi realizado aos 58 meses, ou seja, na ocasião da quarta medição, sendo do tipo misto (seletivo e sistemático). A decisão de aplicar o desbaste nessa idade foi tomada ao empregar o método dos ingressos percentuais, mencionado no item 2.2. No Apêndice A, encontram-se as fotografias que ilustram um exemplo da situação do povoamento após a aplicação dos tratamentos de desbaste.

As medições foram feitas nas idades de 27, 40, 50, 58, 61 e 76 meses. Em cada medição, foram registrados a altura e o diâmetro da copa, a altura total da maioria das árvores e o Dap de todas as árvores contidas nas parcelas.

Para fazer a classificação da capacidade produtiva, mediu-se a altura total de cinco árvores dominantes por parcela, tendo sido encontrada uma variação de 16 a 23 m numa idade-índice de 50 meses.

De modo complementar, para obtenção do volume real, procedeu-se à cubagem rigorosa de 277 árvores-amostra, em diferentes classes de diâmetro, medindo-se nas seções 0,1, 0,3, 0,7, 1,3, 2,0 e 4,0 m, e assim sucessivamente, até o topo de cada árvore-amostra. A altura total foi medida com trena e o

volume individual de cada árvore, com e sem casca, foi obtido por meio da aplicação sucessiva da fórmula de Smalian.

### 3.3. Modelo volumétrico

O modelo volumétrico múltiplo proposto por LEITE et al. (1995) foi utilizado para obtenção do volume por árvore, sendo:

$$V_i = \beta_0 D_{ap_i}^{\beta_1} H_{t_i}^{\beta_2} e^{\beta_3 T_x / D_{ap_i}} \left(1 - D_{x_i}^{1 + \beta_4 d}\right) + e_i$$

em que:

$V$  = volume ( $m^3$ );

$D_{ap}$  = diâmetro a 1,30m de altura (cm);

$d$  = diâmetro comercial ou superior (cm);

$D_x = d/D_{ap}$ ;

$T_x = 0$ , para volume com casca, e  $T_x = 1$ , para volume sem casca;

$H_t$  = altura total (m);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$  = parâmetros do modelo; e

$e$  = erro aleatório.

Um cuidado especial foi observado na fase de montagem do arquivo para o ajustamento. Os quatro últimos diâmetros de cada árvore, com seus respectivos volumes observados, com e sem casca, foram utilizados como diâmetros comerciais, representados pela variável  $d$ . A variável binária  $T_x$  foi incluída no modelo com o intuito de obter, de forma simultânea, os volumes com e sem casca até diferentes diâmetros comerciais.

Para avaliação da equação obtida, foi utilizada a análise estatística de resíduos, empregando-se procedimentos aferidos por GUIMARÃES (1994). Para isto, foi ajustado o modelo de regressão linear:

$$V_{o_i} = \beta_0 + \beta_1 V e_i + e_i$$

em que

$V_o$  = volume observado; e  $V_e$  = volume estimado

Sendo admitidas como precisas as estimativas de volume que resultarem em<sup>2</sup>:

$F(H_0) < F_{0,01}(2, n-2)$ ,  $r_{V_e V_o} \geq 0,80$ ,  $Bias < 20\%$  e  $\bar{e}\%$  não-significativo,

sendo:

$$F(H_0) = \frac{\left( \begin{matrix} C' \beta - \theta \\ \sim \end{matrix} \right)' (V_e \quad V_e) \left( \begin{matrix} C' \beta - \theta \\ \sim \end{matrix} \right)}{2QMRes}$$

$$r_{V_e V_o} = \frac{C\hat{ov}(V_e, V_o)}{\sqrt{V(V_e)V(V_o)}}$$

$$Bias = 100 \sum \frac{(V_e - V_o)}{n}$$

$$\bar{e}\% = \frac{\sum \left( \frac{V_o - V_e}{V_o} \right)}{n} * 100$$

$$t = \frac{\bar{e}\%_j}{s_{e\%j} / \sqrt{n}}, \quad s_{e\%} = \sqrt{\frac{\sum e_{\%ji}^2 - \frac{(\sum e_{\%ji})^2}{n}}{n-1}}, \text{ adotando-se } \alpha = 1\%.$$

$$C' = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; m = \text{posto da matriz } C' = 2;$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \end{bmatrix} = \text{vetor de parâmetros da equação de regressão linear}$$

simples;

$$\theta = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix};$$

$\sigma^2$  = Quadrado médio do resíduo.

<sup>2</sup> LEITE, H.G. Comunicação pessoal. Viçosa-MG: UFV/DEF, 1999.

### 3.4. Modelo hipsométrico para parcelas não-desbastadas

Conforme mencionado anteriormente, apenas parte das árvores teve a sua altura medida, exigindo, portanto, o ajuste de um modelo hipsométrico.

Pelo fato de as parcelas com medições incompletas encontrarem-se em locais diferentes, deveria-se pensar em um teste de identidade de modelos, na intenção de utilizar apenas uma equação de altura para ambos locais, ou de uma equação de altura para cada local separadamente. Porém, o modelo hipsométrico utilizado engloba a variável  $\bar{H}_d$  (altura dominante média da parcela), que responde por possíveis diferenças entre locais. Optou-se, então, pelo ajuste de um único modelo, conforme CAMPOS (1986b):

$$\text{Ln}(Ht_i) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(Dap_i) + \beta_2 \text{Ln}(\bar{H}_d_i) + \text{Lne}_i$$

em que

$Ht$  = altura total, em m;

$\bar{H}_d$  = altura dominante média, em m;

$Dap$  = diâmetro a 1,3 m de altura, em cm;

$\text{Ln}$  = logaritmo neperiano;  $e$

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

### 3.5. Modelo hipsométrico para parcelas desbastadas

Para efeito de totalização das parcelas desbastadas, uma vez que elas não tiveram as alturas das árvores medidas, um modelo hipsométrico, envolvendo apenas as variáveis  $Ht$  e  $Dap$ , foi ajustado, empregando-se os dados da terceira medição (50 meses), realizada antes da aplicação do desbaste. Feito isto, as equações para estimação das alturas totais na idade de 58 meses (idade do desbaste) puderam ser utilizadas.

O modelo hipsométrico empregado foi:

$$\text{Ln}(Ht_i) = \beta_0 + \beta_1 / Dap_i + e_i, \text{ sendo as variáveis conforme já definido.}$$

Aqui, por se tratar de parcelas com localizações diferentes e de não contar com a variável  $Hd$ , optou-se pelo ajuste do modelo para cada local.

A avaliação das equações hipsométricas foi feita, seguindo o mesmo procedimento do item 3.3.

### 3.6. Capacidade produtiva

Para determinação da capacidade produtiva dos locais, foram testados três métodos: método da curva-guia (1), método das curvas correlacionadas (2) e método da predição de parâmetros (3). Os modelos utilizados foram:

$$\text{LnHd}_i = \text{Ln}\beta_0 + \text{Ln}\beta_1 (1/I_i) + e_i \quad (1)$$

$$\text{LnHd}_{2i} - \text{LnHd}_{1i} = \beta_1(1/I_{2i} - 1/I_{1i}) + e_i \quad (2)$$

$$\text{Hd}_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 I_i)] + e_i \quad (3)$$

em que

$Hd$  = altura média das árvores dominantes, em m;

$Hd_1$  = altura dominante na idade  $i$ , em m;

$Hd_2$  = altura dominante na idade  $i + 1$ , em m;

$I$  = idade dos povoamentos, em meses;

$\beta_0 \beta_1$  = parâmetros dos modelos; e

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

Esses modelos foram ajustados aos 240 pares de valores de dados de altura dominante média e idade. Para o ajuste dos modelos 1 e 2, foi utilizado o método dos mínimos quadrados ordinários, e para o modelo 3, empregou-se o procedimento iterativo Quasi-Newton.

Para construção das curvas de índice de local, adotou-se uma idade-índice de 50 meses, empregando as seguintes expressões, deduzidas conforme CLUTTER et al. (1983):

$$\text{LnHd} = \text{LnS} + \beta_1(1/I - 1/I_i) \quad \begin{array}{l} \text{Método da curva-guia e} \\ \text{Método das curvas correlacionadas.} \end{array}$$

$$Hd = S \frac{\left(1 - e^{-\bar{\beta}_1 l}\right)}{\left(1 - e^{-\bar{\beta}_1 l_i}\right)}$$

Método da predição de parâmetros.

em que

S = índice de local; e

$l_i$  = idade-índice, sendo as demais variáveis conforme já definido.

Para aplicação do método da predição de parâmetros, o modelo de Chapman-Richards, na forma monomolecular  $Hd_i = \beta_1[1 - \exp(-\beta_2 l_i)] + e_i$ , foi ajustado inicialmente para cada parcela, separadamente. Em seguida, utilizou-se a expressão  $S_i = Hd_i \frac{1 - e^{-\beta_2 / l_i}}{1 - e^{-\beta_2}}$ , para estimar o índice de local para cada

parcela.

Os estimadores de  $\beta_1$  e  $\beta_2$  foram relacionados aos índices de local assim obtidos, empregando-se os modelos:  $\beta_{1i} = \alpha_0 + \alpha_1 S_i + e_i$  e  $\beta_{2i} = \alpha_0 + \alpha_1 S_i + \alpha_2 S_i^2 + e_i$ . Finalmente, as duas equações foram substituídas no modelo de Chapman-Richards, resultando na expressão adotada para construção das curvas de índices de local.

Após a avaliação dos três métodos, considerou-se o método da curva-guia como o método-padrão e foram, então, feitas comparações com os outros dois métodos. Para este propósito, adotou-se o seguinte procedimento<sup>3</sup>: considerando  $S_{ji}$  os índices de local das parcelas, obtidas pelos métodos alternativos, curvas correlacionadas  $j = 2$  e predição de parâmetros  $j = 3$ , com  $i = 1, 2, \dots, n$  parcelas, ajustou-se o modelo  $S_{ji} = \alpha_0 + \alpha_1 S_{1i} + e_i$ , em que  $j = 2$  e

$3$  e  $S_{1i}$  = índice de local obtido pelo método-padrão. A hipótese  $H_0: \alpha = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$  foi

então testada, comparando-se a estatística  $F(H_0) = \frac{\left(C' \alpha - \theta\right)' \left(S_1' S_1\right) \left(C' \alpha - \theta\right)}{2QMR_{es}}$

com o valor tabelado  $F_{0,01}(2, n-2)$ .

<sup>3</sup> LEITE, H.G. Comunicação pessoal. Viçosa-MG: DEF/UFV, 1999.

Em seguida, estimaram-se as estatísticas:

$$r_{S_j S_1} = \frac{\text{Cov}(S_j, S_1)}{\sqrt{V(S_j)V(S_1)}},$$

$$\bar{e}\% = \frac{\sum (S_{ji} - S_{1i})}{n} 100$$

$$\text{Bias} = 100 \sum \frac{(S_{ji} - S_{1i})}{n}$$

A condição estabelecida para identidade entre os métodos foi

$$F(H_0) < F_{0,01}(2, n-2), \quad \bar{e}\% \text{ não-significativo e } r_{S_j S_1} > 1 - \text{Bias}.$$

Para testar a hipótese  $H_0: \bar{e}\% = 0$ , utilizou-se a estatística:

$$t = \frac{\bar{e}\%_j}{s_{e\%j} / \sqrt{n}}, \quad s_{e\%} = \sqrt{\frac{\sum e_{\%ji}^2 - \frac{(\sum e_{\%ji})^2}{n}}{n-1}}, \text{ adotando-se } \alpha = 1\%. \text{ Admitiu-se}$$

$$\text{que } \frac{S_j - S_1}{S_1} \sim N.$$

Foram analisadas, também graficamente, as curvas de índices de local geradas pelos três métodos e as alturas dominantes observadas por classe de capacidade produtiva.

### 3.7. Crescimento e produção

Os dados obtidos foram utilizados para ajuste do modelo de Clutter, assim escrito:

$$\text{Ln}V_{2i} = \beta_0 + \beta_1 / I_{2i} + \beta_2 S_i + \beta_3 \text{Ln}B_{2i} + e_i$$

$$\text{Ln}B_{2i} = \text{Ln}B_1 \left( \frac{I_{1i}}{I_{2i}} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_{1i}}{I_{2i}} \right) + e_i$$

em que

$V_2$  = volume da  $i$ -ésima parcela, em  $\text{m}^3/\text{ha}$ ;

$B_1$  = área basal da  $i$ -ésima parcela, em  $\text{m}^2/\text{ha}$ , na idade  $I_{1i}$ ;

$B_2$  = área basal da  $i$ -ésima parcela, em  $\text{m}^2/\text{ha}$ , na idade  $I_{2i}$ ;

$S$  = índice de local da  $i$ -ésima parcela, em  $m$ ;

$\text{Ln}$  = logaritmo neperiano;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \alpha_1$  = parâmetros;  $e$

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

Com base no gráfico de distribuição de resíduos e nas medidas de precisão, optou-se por retirar a variável índice de local ( $S$ ) do modelo (2), que expressa a produção futura em área basal, devido à ocorrência de estimativas inconsistentes verificadas ao incluir a variável.

A avaliação do modelo foi feita em duas etapas: na primeira, empregou-se o procedimento descrito em 3.3., para avaliação dos métodos de construção de índices de local, juntamente com análise de distribuição dos resíduos; e na segunda, referiu-se aos fundamentos biológicos do modelo, por meio da análise da consistência das estimativas em relação aos efeitos da área basal inicial e do índice de local sobre a idade de corte.

De posse das equações obtidas, foram construídas tabelas de produção de densidade variável.

### **3.8. Simulação de desbastes e avaliação econômica**

Para análise da produção volumétrica, foram estabelecidas simulações de desbastes na tabela de produção, com variações de intensidades de desbaste (de 20 a 70% de retirada em área basal), para projeções feitas a partir da área basal inicial média aos 24 meses e do índice de local correspondente à classe de local II ( $S = 21$ ).

Para as análises econômicas, utilizaram-se dados de custos de desbaste, de colheita e de condução dos povoamentos, juntamente com dados de preço da madeira, definindo-se uma planilha de custos e receitas. Cada uma das intensidades de desbaste avaliada foi considerada como um projeto, tendo o critério do benefício periódico equivalente sido utilizado para as análises, segundo diferentes simulações de área basal inicial, aos 24 meses, e respectivas classes de local. Nos cálculos, foram utilizadas as taxas de juros de 5, 8 e 10% a.a.

Para permitir uma melhor visualização dos fluxos de caixa estabelecidos, foi elaborada a Figura 1, que ilustra um exemplo de simulação.

O benefício periódico equivalente (BPE) para cada projeto foi obtido por meio da fórmula usual:

$$BPE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1]}{\left[1 - \frac{1}{(1+i)^{nt}}\right]}, \text{ sendo}$$

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

em que

VPL = valor presente líquido, em US\$/ha;

R<sub>j</sub> = receita no período j;

C<sub>j</sub> = custo no período j;

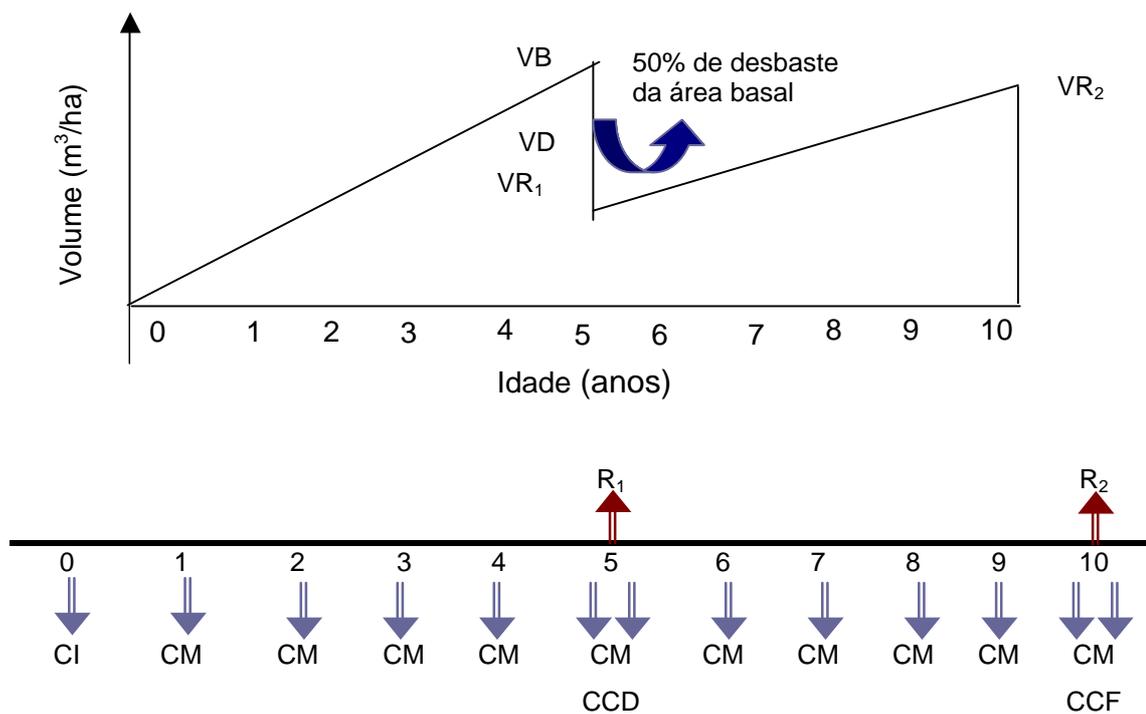
i = taxa de desconto;

j = período de ocorrência dos custos e receitas;

n = duração do projeto, em anos;

t = n<sup>o</sup> de períodos de capitalização por ano; e

nt = n<sup>o</sup> total de períodos de capitalização.



VB = volume bruto (m<sup>3</sup>/ha), VD = volume desbastado (m<sup>3</sup>/ha), VR<sub>1</sub> = volume remanescente após o desbaste (m<sup>3</sup>/ha), VR<sub>2</sub> = volume do corte final (m<sup>3</sup>/ha), R<sub>1</sub> = receita (volume x preço) obtida com a colheita do volume desbastado, R<sub>2</sub> = receita (volume x preço) obtida com a colheita do estoque no final do horizonte de dez anos, CI = custo de implantação, CM<sub>1-10</sub> = custo de manutenção nos anos de 1 a 10, CCD = custo da colheita intermediária (desbaste) e CCF = custo da colheita final.

Figura 1 – Esquema de uma simulação de um desbaste de 50% da área basal aos cinco anos de idade, com o corte final aos dez anos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Volumes das árvores individuais

No ajustamento do modelo de múltiplos volumes, foi empregada uma frequência de 2.215 dados, oriundos de 277 árvores-amostra. A equação e as estatísticas correspondentes encontram-se no Quadro 1. Pode-se verificar que os resultados são aceitáveis, apesar do erro médio significativo a 1% de probabilidade, e que  $F(H_0)$  é não-significativo a 1% de probabilidade, correlação >80% e Bias < 20%.

As estimativas de volume sem casca foram tendenciosas para  $Dap \leq 8$  cm (Figura 2). Contudo, sendo as plantações manejadas para celulose e serraria, em que os diâmetros mínimos são 8 cm sem casca e 20 cm com casca, respectivamente, esta tendenciosidade não traz maiores conseqüências. Árvores com  $Dap \leq 8$  cm são destinadas à energia e, neste caso, o volume a ser estimado considera a casca. Pode-se verificar que as estimativas com casca não foram tendenciosas.

Quadro 1 - Equação de múltiplos volumes com seus coeficientes e estatísticas principais

Equação	$\hat{V} = 0,000048D_{ap}^{1,7330}Ht^{1,1264}e^{-2,2875TX/D_{ap}}(1 - D_{ap}^{1+1,6362d})$				
	$r_{\hat{V}V}$	$R^2$	F	Bias	$\bar{e}\%$
	0,99	0,99	1,48 <sup>ns</sup>	0,019 m <sup>3</sup>	0,82 <sup>**</sup>

$$F(H_0)_V = 1,48 < F_{0,01}(2,2213) = 4,61$$

$$\bar{e}\% = 0,82^{**}, t = \frac{\bar{e}\%}{s_{\bar{e}\%}/\sqrt{n}} = 4,83 > t_{0,01}(2214) = 2,57$$

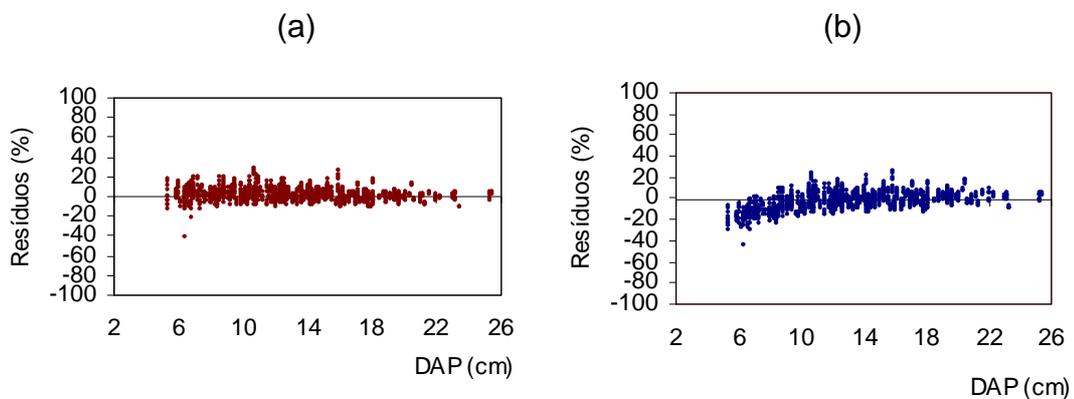


Figura 2 - Distribuição dos resíduos percentuais da equação de volume com casca (a) e da equação de volume sem casca (b).

## 4.2. Altura total

Conforme item 3., uma única equação foi adotada para as parcelas não-desbastadas. Na Figura 3, pode-se observar a análise de resíduos, não demonstrando tendenciosidade nas estimativas; as principais estatísticas apresentadas a seguir.

$$\text{Ln}\hat{H}t = 1,34790^{**} - 4,38294^{**} \text{LnDap} + 0,637805^{**} \text{LnHd}$$

$$r = 0,91 \quad R^2 = 0,83 \quad e\% = -0,29^{ns} \quad \text{e Bias} = -3,62$$

\*\* significativo a 1%.

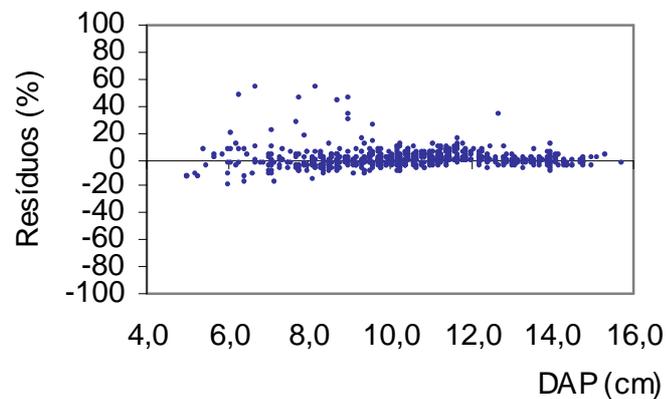


Figura 3 - Distribuições dos resíduos percentuais para a equação de altura e algumas estatísticas.

As equações ajustadas para as parcelas desbastadas foram:

### - Instalação 1:

$$\text{Ln}\hat{H}t = 3,07457^{**} - 4,93445^{**} / \text{Dap}$$

$$r^2 = 0,76$$

$$e\% = -0,22^{**}$$

$$\text{Bias} = -4,11\text{m}$$

### - Instalação 2:

$$\text{Ln}\hat{H}t = 3,07331^{**} - 4,94619^{**} / \text{Dap}$$

$$r = 0,86$$

$$r^2 = 0,74$$

$$e\% = -0,19^{\text{ns}}$$

$$\text{Bias} = -3,47\text{m}$$

### - Instalação 3:

$$\text{Ln}\hat{H}t = 3,09086^{**} - 5,04504^{**} / \text{Dap}$$

$$r = 0,85$$

$$r^2 = 0,72$$

$$e\% = -0,27^{**}$$

$$\text{Bias} = -5,27\text{m}$$

## 4.3. Capacidade produtiva

Os três métodos de classificação da capacidade produtiva foram avaliados separadamente, concluindo-se pelo emprego do método da curva-guia.

### 4.3.1. Método da curva-guia

Foi utilizado o modelo de Schumacher, que considera a altura média das árvores dominantes numa idade-índice.

A equação obtida foi  $\text{Ln}\hat{H}d = 3,4841 - 23,4943(1/I)$ , e as medidas de precisão são apresentadas a seguir:

$$F(H_0)_{Hd} = 0,079 < F_{0,01}(2,238) = 4,61$$

$$r_{\hat{H}dHd} = 0,95$$

Bias = -0,0295 m

$\bar{e}\% = -0,1442^{ns}$

$$t = \frac{\bar{e}\%}{s_{\bar{e}\%} / \sqrt{n}} = -0,41 > t_{0,01}(239) = 2,57$$

Pode-se verificar que os resultados são aceitáveis e se enquadram no caso ideal de ajuste, ou seja,  $F(H_0)$  não-significativo a 1% de probabilidade, correlação >80%, erro médio porcentual não-significativo e Bias < 20%.

A distribuição dos valores observados das alturas dominantes nas diferentes idades pode ser visualizada na Figura 4, na qual foi traçada a curva-guia. De modo complementar, foram plotados os resíduos em relação às alturas dominantes observadas, não tendo sido observada nenhuma tendenciosidade (Figura 5).

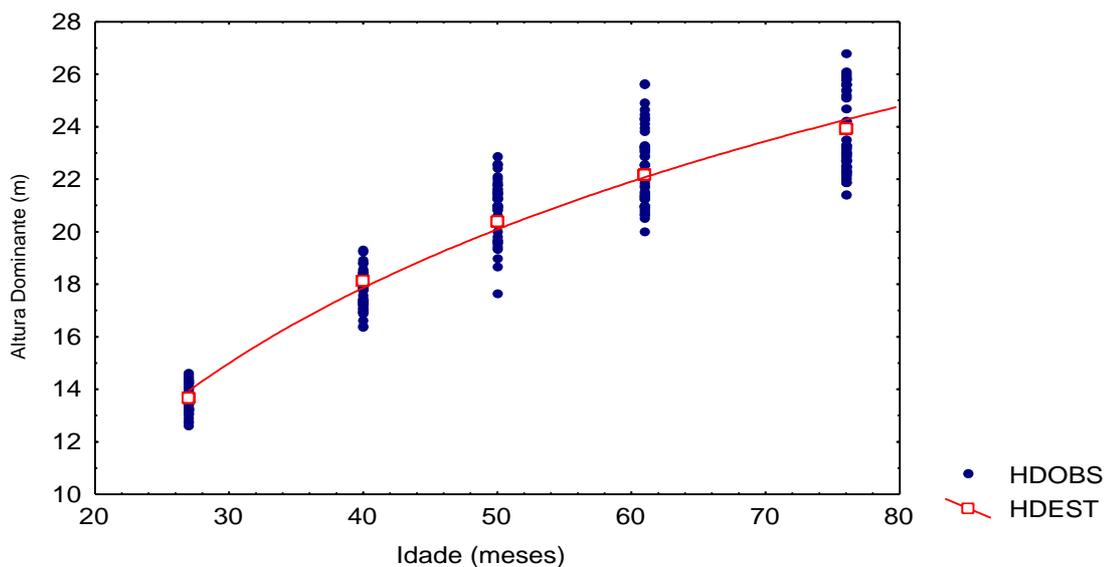


Figura 4 - Alturas observadas e estimadas das árvores dominantes por idade com representação da curva-guia.

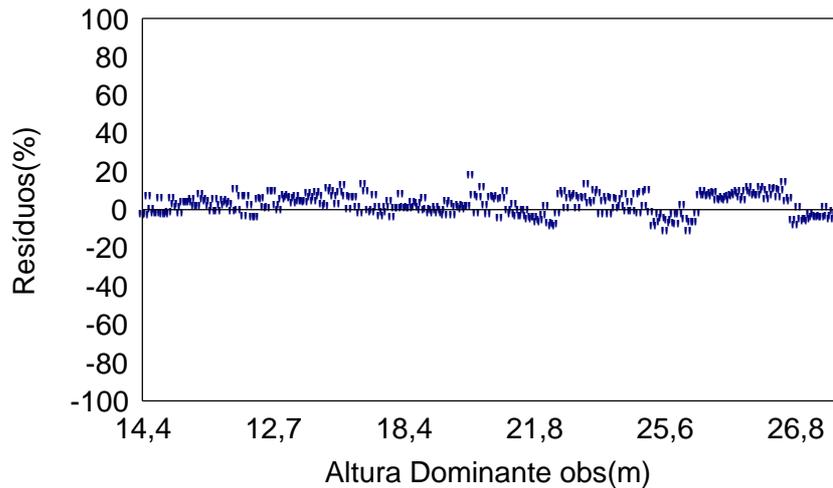


Figura 5 - Distribuições dos resíduos percentuais para a equação de altura dominante.

O passo seguinte foi gerar o feixe de curvas de índice de local, usando, para isto, o conceito de índice de local e efetuando as seguintes transformações:

$$\text{Ln}\hat{H}_d = 3,4841 - 23,4943(1/l);$$

$$\text{Ln}S = 3,4841 - 23,4943(1/l_i);$$

$$3,4841 = \text{Ln}S - (-23,4943)(1/l_i);$$

$$\text{Ln}\hat{H}_d = \text{Ln}S - (-23,4943)(1/l_i) + (-23,4943)(1/l); \text{ e}$$

$$\text{Ln}\hat{H}_d = \text{Ln}S - 23,4943 \left[ \frac{1}{l} - \frac{1}{50} \right].$$

Ao substituir diferentes combinações de índice de local e idades, com grandezas em conformidade com aquelas observadas, pôde-se construir o feixe de curvas (Figura 6) com variação do índice de local de 16 a 26 m na idade-índice. Três classes de qualidade de local foram definidas, com intervalo de 4 m na idade-índice (Figura 6).

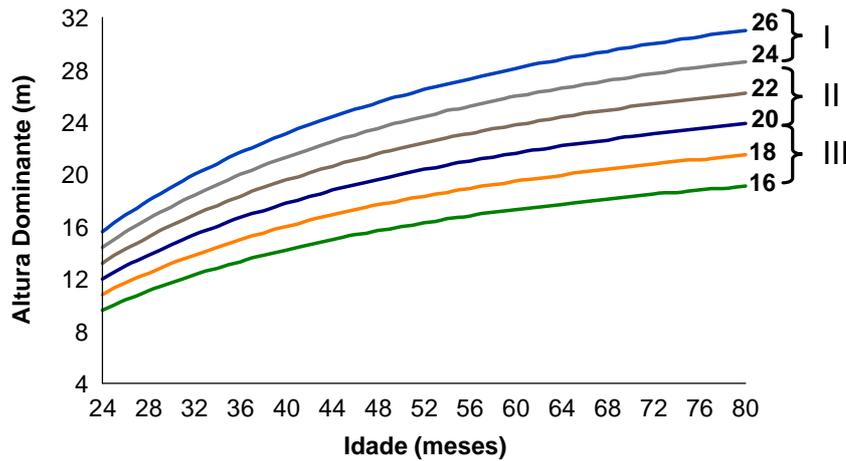


Figura 6 - Curvas de índice de local para plantações desbastadas de *Eucalyptus urophylla* vs *E. grandis*, com idade-índice de 50 meses, pelo método da curva-guia, municípios de Inhambupe e Esplanada, Bahia.

Para permitir, posteriormente, uma melhor comparação dos resultados dos três métodos, elaborou-se o Quadro 2, com os limites de altura dominantes das classes de local I, II, III. Este tipo de quadro foi gerado também para os outros dois métodos (item 4.3.2 e 4.3.3).

#### 4.3.2. Método das curvas correlacionadas

Conforme o item 3., de posse das diferenças entre as alturas dominantes e as idades, ajustou-se o modelo  $\text{LnHd}_2 - \text{LnHd}_1 = \beta_1(1/l_2 - 1/l_1)$ . Considerando que  $Y = \text{LnHd}_2 - \text{LnHd}_1$  e  $X = (1/l_2) - (1/l_1)$ , obteve-se a equação  $\hat{Y} = -22,6153 X$ .

Para as análises estatísticas, os resultados foram revertidos para a variável original, por meio da transformação:

$$\hat{\text{Hd}}_2 = \exp(-22,6153(1/l_2 - 1/l_1) + \text{Ln}(\text{Hd}_1))$$

$$F(H_0)_{\text{Hd}} = 12,9 > F_{0,01}(2,190) = 4,61$$

Quadro 2 - Limites de alturas dominantes (m), por classe de produtividade, para plantações desbastadas de *Eucalyptus urophylla* vs *E. grandis*, com idade índice de 50 meses, pelo método da curva-guia, municípios de Inhambupe e Esplanada, Bahia

Idade (meses)	Classe de Local		
	I (S = 25)	II (S= 21)	III (S = 17)
24	≥13,9	13,8 – 11,5	≤11,4
26	≥15,0	14,9 – 12,4	≤12,3
28	≥16,0	15,9– 13,2	≤13,1
30	≥16,9	16,8 – 14,0	≤13,9
32	≥17,8	17,7 – 14,7	≤14,6
34	≥18,5	18,4 – 15,3	≤15,2
36	≥19,3	19,2 – 15,9	≤15,8
38	≥19,9	19,7 – 16,5	≤16,4
40	≥20,6	20,5 – 17,0	≤16,9
42	≥21,1	21,0 – 17,5	≤17,4
44	≥21,7	21,6 – 17,9	≤17,8
46	≥22,2	22,1 – 18,3	≤18,2
48	≥22,7	22,5 – 18,7	≤18,6
50	≥23,1	23,0 - 19,1	≤19,0
52	≥23,5	23,4 - 19,4	≤19,3
54	≥23,9	23,8 - 19,8	≤19,7
56	≥24,3	24,2 - 20,1	≤20,0
58	≥24,6	24,6 - 20,4	≤20,3
60	≥25,0	24,9 - 20,6	≤20,5
62	≥25,3	25,2 – 20,9	≤20,8
64	≥25,6	25,5 - 21,2	≤21,1
66	≥25,9	25,8 - 21,4	≤21,3
68	≥26,1	26,0 - 21,6	≤21,5
70	≥26,4	26,3 - 21,8	≤21,7
72	≥26,7	26,6 - 22,0	≤21,9

$$r_{\hat{Hd}_2 Hd_2} = 0,89$$

$$\text{Bias} = -0,1855 \text{ m}$$

$$\bar{e}\% = -0,077 \text{ ns}$$

$$t = \frac{\bar{e}\%}{s_{\bar{e}\%} / \sqrt{n}} = -0,19 < t_{0,01}(191) = 2,57$$

Pode-se verificar que esses resultados são aceitáveis, pois, apesar de apresentar  $F(H_0)$  significativo a 1% de probabilidade, são observados correlação >80%, erro médio percentual não-significativo e Bias < 20%. Além disto, por meio da análise de resíduos (Figura 7), em função das alturas dominantes observadas na idade 2 ( $Hd_2$ ), nota-se homogeneidade na distribuição dos pontos, não havendo tendência nas estimativas.

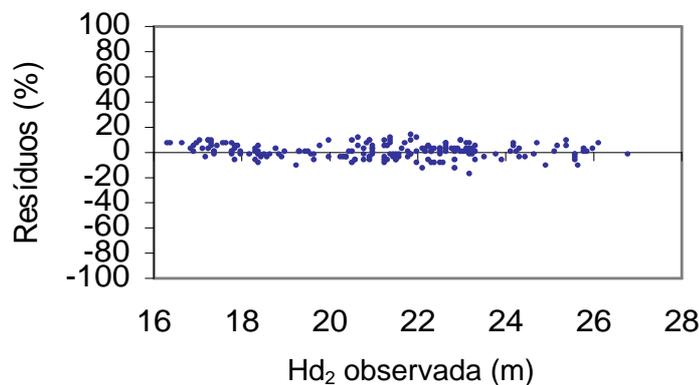


Figura 7 – Distribuição dos resíduos percentuais gerados pela aplicação da equação  $\hat{Y} = -22,6153 X$ .

Utilizando o conceito de índice de local, a equação obtida foi reescrita, considerando-se  $Hd_2 = S$ , e  $I_2 =$  idade-índice, conforme desenvolvimentos de CLUTTER et al. (1983), resultando em  $\text{Ln}\hat{Hd} = \text{Ln}S - 22,6153 \left( \frac{1}{I} - \frac{1}{50} \right)$ . As curvas e a tabela de índices de local foram geradas, sendo apresentadas na Figura 8 e no Quadro 3.

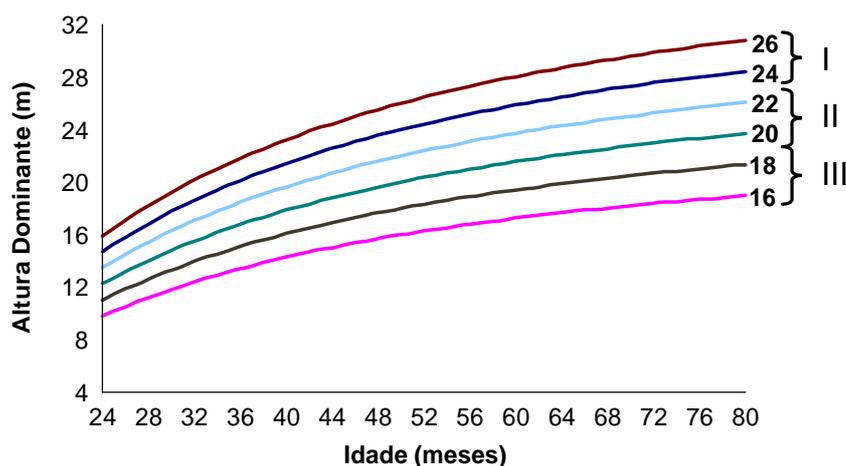


Figura 8 – Curvas de índice de local para plantações desbastadas de *Eucalyptus urophylla* vs *E. grandis*, com idade-índice de 50 meses, pelo método das curvas correlacionadas, municípios de Inhambupe e Esplanada, Bahia.

#### 4.3.3. Método da predição de parâmetros

Também conforme o item 3., o primeiro passo consistiu em ajustar o modelo Chapman-Richards, para cada parcela individualmente. A partir daí, os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , obtidos para cada parcela, foram relacionados com os correspondentes índices de local, gerados ao substituir a idade-índice nas equações individuais. Em seguida, foram ajustados os modelos  $\beta_{0i} = a_0 + a_1S_i + e_i$  e  $\beta_{1i} = \alpha_0 + \alpha_1S_i + \alpha_2S_i^2 + e_i$ , conforme sugerido por CLUTTER et al. (1983). Entretanto, nenhuma relação foi verificada entre  $\hat{\beta}_0$  e  $\hat{\beta}_1$  com os índices de local (Figura 9). Assim, admitiu-se  $\hat{\beta}_0 = \bar{\beta}_0$  e  $\hat{\beta}_1 = \bar{\beta}_1$ . Ao substituir estes estimadores no modelo de Chapman-Richards, conforme o item 3., obteve-se:  $Hd = \bar{\beta}_0 \left( 1 - e^{-\bar{\beta}_1 t} \right)$ .

Portanto, é necessária a aplicação do conceito de índice de local, fazendo:  $S_i = \bar{\beta}_0 \left( 1 - e^{-\bar{\beta}_1 50} \right)$ , o que, resulta em:

Quadro 3 - Limites de alturas dominantes (m), por classe de produtividade, para plantações desbastadas de *Eucalyptus urophylla* vs *E. grandis*, com idade índice de 50 meses, pelo método das curvas correlacionadas, municípios de Inhambuê e Esplanada, Bahia

Idade (meses)	Classe de Local		
	I (S = 25)	II (S= 21)	III (S = 17)
24	≥14,2	14,1 – 11,8	≤11,7
26	≥15,2	15,1 – 12,7	≤12,6
28	≥16,2	16,1 – 13,5	≤13,4
30	≥17,1	17,0 – 14,3	≤14,2
32	≥17,9	17,8 – 14,9	≤14,8
34	≥18,7	18,5 – 15,6	≤15,5
36	≥19,4	19,3 – 16,1	≤16,0
38	≥20,0	19,9 – 16,7	≤16,6
40	≥20,6	20,5 – 17,2	≤17,1
42	≥21,2	21,1 – 17,6	≤17,5
44	≥21,7	21,6 – 18,1	≤18,0
46	≥22,2	22,1 – 18,5	≤18,4
48	≥22,7	22,6 – 18,8	≤18,7
50	≥23,1	23,0 - 19,2	≤19,1
52	≥23,5	23,4 - 19,5	≤19,4
54	≥23,9	23,8 - 19,8	≤19,7
56	≥24,2	24,1 - 20,1	≤20,0
58	≥24,6	24,5 - 20,4	≤20,3
60	≥24,9	24,8 - 20,7	≤20,6
62	≥25,2	25,1 – 20,9	≤20,8
64	≥25,5	25,4 - 21,2	≤21,1
66	≥25,8	25,7 - 21,4	≤21,3
68	≥26,0	25,9 - 21,6	≤21,5
70	≥26,3	26,2 - 21,8	≤21,7
72	≥26,5	26,4 – 22,0	≤21,9

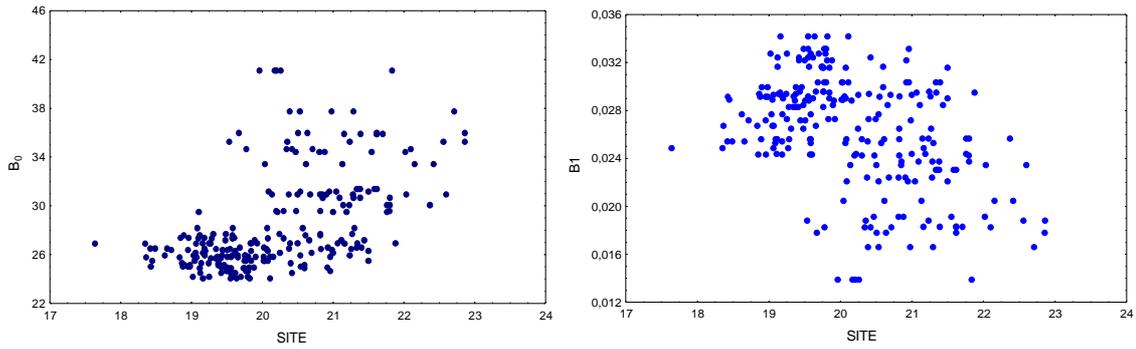


Figura 9 – Dispersão das estimativas dos parâmetros do modelo de Chapman-Richards, em função dos índices de local de cada parcela.

$$Hd = S \frac{(1 - e^{-\bar{\beta}_1 l})}{(1 - e^{-\bar{\beta}_1 50})} \quad \text{ou} \quad S = Hd \frac{(1 - e^{-\bar{\beta}_1 50})}{(1 - e^{-\bar{\beta}_1 l})}$$

Assim, foram construídas as curvas e a tabela de índices de local (Figura 10 e Quadro 4).

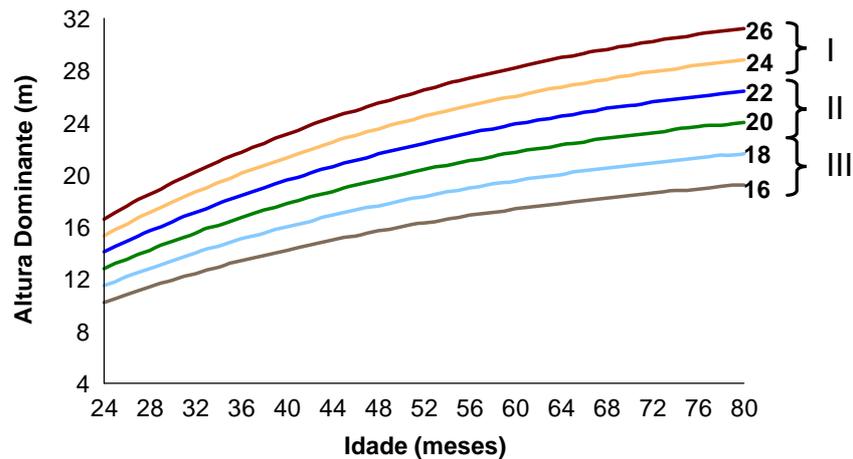


Figura 10 – Curvas de índice de local para plantações desbastadas de *Eucalyptus urophylla* vs *E. grandis*, com idade-índice de 50 meses, pelo método da predição de parâmetros, municípios de Inhambupe e Esplanada, Bahia.

Quadro 4 - Limites de alturas dominantes (m), por classe de produtividade, para plantações desbastadas de *Eucalyptus urophylla* vs *E. grandis*, com idade índice de 50 meses, pelo método da predição de parâmetros, municípios de Inhambupe e Esplanada, Bahia

Idade (meses)	Classe de Local		
	I (S = 25)	II (S= 21)	III (S = 17)
24	≥14,8	14,7 – 12,3	≤12,2
26	≥15,7	15,6 – 13,1	≤13,0
28	≥16,5	16,4 – 13,7	≤13,6
30	≥17,2	17,1 – 14,4	≤14,3
32	≥18,0	17,9 – 15,0	≤14,9
34	≥18,7	18,6 – 15,5	≤15,4
36	≥19,3	19,2 – 16,1	≤16,0
38	≥20,0	19,9 – 16,6	≤16,5
40	≥20,6	20,5 – 17,1	≤17,0
42	≥21,1	21,0 – 17,6	≤17,5
44	≥21,7	21,6 – 18,0	≤17,9
46	≥22,2	22,1 – 18,4	≤18,3
48	≥22,6	22,5 – 18,8	≤18,7
50	≥23,1	23,0 - 19,2	≤19,1
52	≥23,5	23,4 - 19,6	≤19,5
54	≥23,9	23,8 - 19,7	≤19,8
56	≥24,3	24,2 - 20,2	≤20,1
58	≥24,7	24,6 - 20,5	≤20,4
60	≥25,1	25,0 - 20,8	≤20,7
62	≥25,4	25,3 – 21,2	≤21,0
64	≥25,7	25,6 - 21,4	≤21,3
66	≥26,0	25,9 - 21,6	≤21,5
68	≥26,3	26,2 - 21,8	≤21,7
70	≥26,6	26,5 – 22,1	≤22,0
72	≥26,8	26,7 – 22,3	≤22,2

#### 4.3.4. Comparação dos métodos de classificação da capacidade produtiva

Conforme o item 3., o método da curva-guia foi considerado como padrão e a comparação com os outros dois métodos foi realizada conforme descrito nesse item. Portanto, de posse dos índices de local, obtidos para cada parcela, pelos três métodos, foram efetuados os seguintes ajustes e cálculos:

$$S_{ji} = \alpha_0 + \alpha_1 S_{1i} + e_i$$

em que

j = 2 (curvas correlacionadas); e

j = 3 (predição de parâmetros).

$$F(H_0) = \frac{\left( C' \alpha - \theta \right)' \left( S_1' S_1 \right)^{-1} \left( C' \alpha - \theta \right)}{2QMR_{es}}$$

$$r_{S_j S_1} = \frac{Cov(S_j, S_1)}{\sqrt{V(S_j) * V(S_1)}}$$

$$\bar{e}\% = \frac{S_{ji} - S_{1i} * 100}{S_{1i} n}$$

$$Bias = 100 * \sum \frac{(S_{ji} - S_{1i})}{n}$$

$$s_{e\%} = \sqrt{\frac{\sum e_{\%ji}^2 - \frac{(\sum e_{\%ji})^2}{n}}{n-1}}$$

$$t = \frac{\bar{e}\%_j}{s_{e\%j}/\sqrt{n}}$$

Os resultados são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Comparação dos três métodos de determinação dos índices de local

Critérios	Comparação/Resultados	
	Curvas Correlacionadas vs Curva-Guia <sup>1/</sup>	Predição de Parâmetros vs Curvas-Guia <sup>2/</sup>
$F(H_0)_j < F_{0,01}(2, n - 2)$	Não	Não
$t_{e\%_j} < t_{0,01}(n - 1)$	Não	Não
$r_{\hat{S}_j S_i} \geq 1 - \text{Bias}$	Sim	Não

<sup>1/</sup> Curvas correlacionadas vs curva-guia:

$$F(H_0)_S = 9,03 > F_{0,01}(2, 238) = 4,61$$

$$\bar{e}\% = -0,2008^{**}$$

$$t = \frac{\bar{e}\%}{s_{\bar{e}\%} / \sqrt{n}} = -4,25 > t_{0,01}(239) = 2,57$$

$$\text{Bias} = -0,0409$$

$$r_{\hat{S}_j S_i} = 0,99 \geq 1 - (0,0409/100)$$

<sup>2/</sup> Predição de parâmetros vs curva-guia:

$$F(H_0)_S = 58,15 > F_{0,01}(2, 238) = 4,61$$

$$\bar{e}\% = -0,9158^{**}$$

$$t = \frac{\bar{e}\%}{s_{\bar{e}\%} / \sqrt{n}} = -10,82 > t_{0,01}(239) = 2,57$$

$$\text{Bias} = -0,1867$$

$$r_{\hat{S}_j S_i} = 0,97 < 1 - (0,1867/100)$$

Considerando o critério global, isto é, a identidade entre os métodos, se e somente se  $F(H_0)_j < F_{0,01}(2, n-2)$ ,  $t_{e\%j} < t_{0,01}(n-1)$  e  $r_{S_j S_1} \geq 1 - \text{Bias}$ , pode-se concluir que os três métodos não proporcionaram resultados estatisticamente coincidentes. Assim, decidiu-se pelo emprego do método-padrão. A propósito, a definição da curva-guia como padrão deve-se ao seu uso freqüente e aos resultados satisfatórios, ou seja, por ser um método já consagrado.

#### 4.4. Crescimento e produção

Considerando que se trata de um estudo pioneiro, contendo o ajuste de modelos de crescimento e produção a dados de plantações de eucalipto desbastadas, julgou-se oportuno ajustar o modelo de Clutter, por se tratar do modelo mais difundido no Brasil. O modelo, depois de ajustado aos dados, foi submetido a análises estatísticas, como também o seu comportamento quanto a tendências de ordem biológica. Os volumes observados e os estimados pelo modelo, considerando três níveis de redução da área basal, podem ser visualizados na Figura 11. Em seguida, elaborou-se uma aplicação do mesmo junto às simulações de desbaste e avaliações econômicas (item 4.6).

As equações obtidas a partir do ajuste do modelo de Clutter foram:

##### - Produção futura em volume:

$$\begin{aligned} \text{Ln}\hat{V}_2 &= 2,441896 - 24,23312/l_2 + 0,032370S + 0,726114\text{Ln}B_2 \\ R^2 &= 0,73 \quad \text{Bias} = -19,3825 \quad \bar{e}\% = -0,5242 \end{aligned}$$

##### - Produção futura em área basal:

$$\begin{aligned} \text{Ln}\hat{B}_2 &= \text{Ln}B_1 \left( \frac{l_1}{l_2} \right) + 3,286565 \left( 1 - \frac{l_1}{l_2} \right) \\ R^2 &= 0,88 \quad \text{Bias} = -0,677 \quad \bar{e}\% = -0,2041 \end{aligned}$$

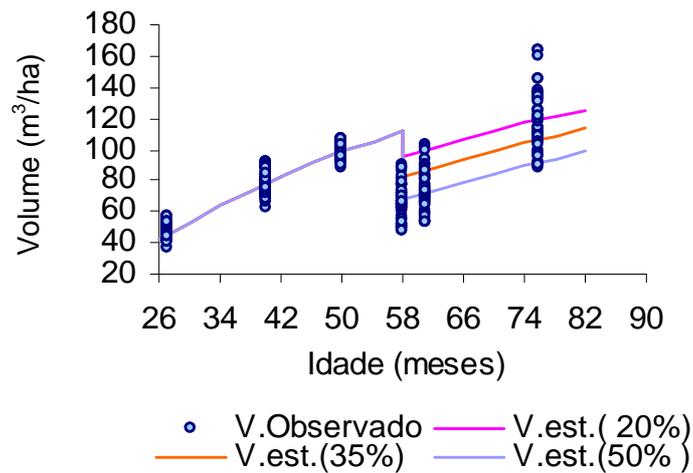


Figura 11 - Volumes observados com ocorrência de desbaste aos 58 meses e volumes estimados em  $m^3/ha$  para os diferentes níveis de redução de área basal, para o índice de local 21 e área basal inicial  $8,5 m^2/ha$ .

A avaliação do modelo foi feita em três etapas. Na primeira, foram analisadas as distribuições dos resíduos geradas pela aplicação do modelo (Figura 12). Desta análise, pôde-se comprovar que as estimativas de área basal e volume não foram tendenciosas. Passou-se, então, à segunda etapa do processo de avaliação do modelo, que consistiu em verificar a exatidão das estimativas, utilizando o procedimento já descrito no item 3. Foram consideradas exatas as estimativas que resultassem, simultaneamente, em:

$$F(H_0)_{V_2} < F_{0,01}(2, n-2), \quad t < t_{0,01}(n-1) \text{ e } r_{\hat{V}_2 V_2} \geq 1 - \text{Bias}$$

As estatísticas obtidas foram:

$$F(H_0)_{V_2} = 1,26^{ns} < F_{0,01}(2,238) = 4,61$$

$$\text{Bias} = -19,3825$$

$$\bar{e}\% = -0,5242^{ns}$$

$$t = \frac{\bar{e}\%}{s_{\bar{e}\%} / \sqrt{n}} = -0,75^{ns} < t_{0,01}(239) = 2,57$$

$$r_{\hat{V}_2 V_2} = 0,84 > 1 - (19,3825/100)$$

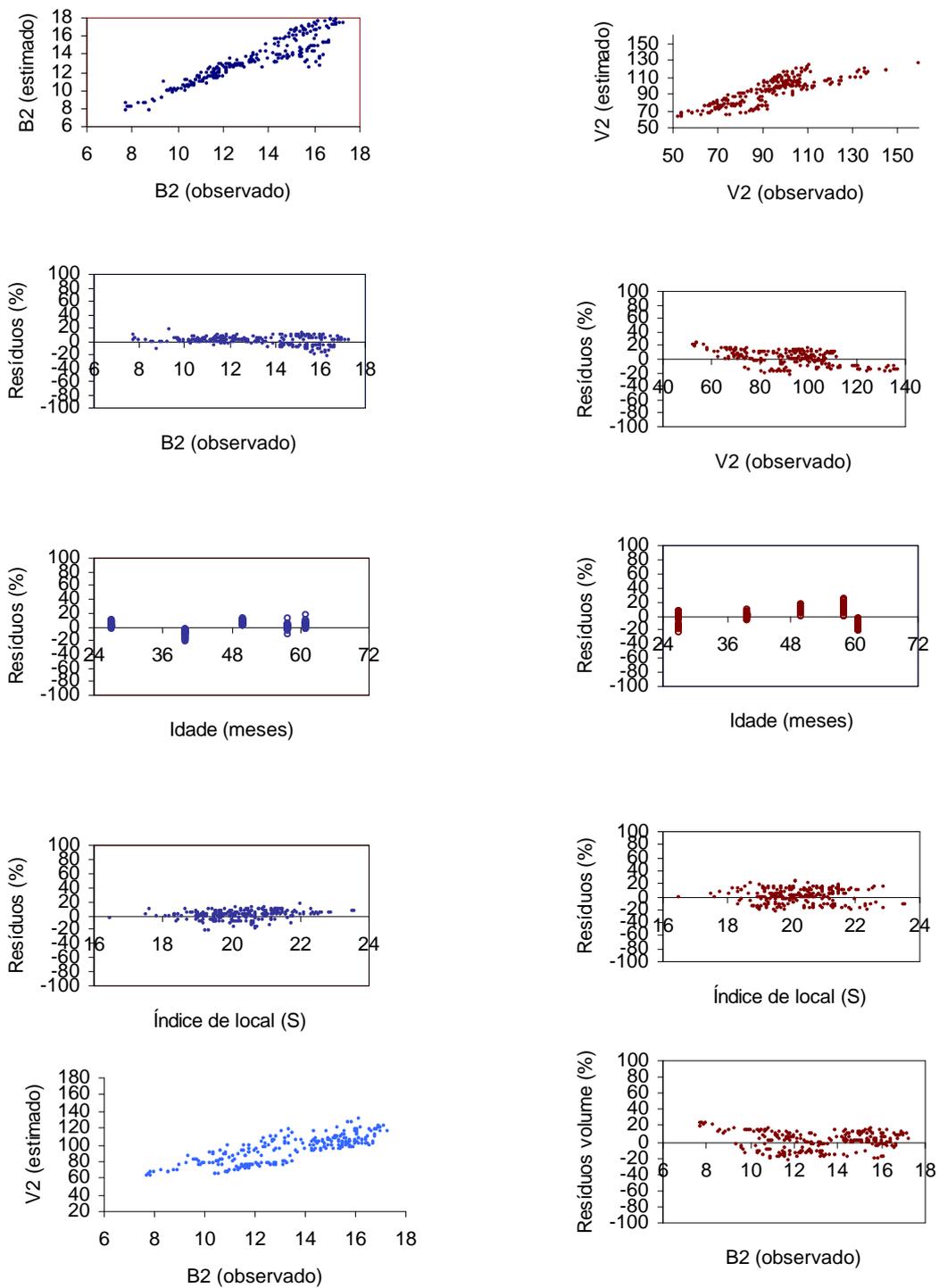


Figura 12 - Análises gráficas de resíduos elaboradas para verificação de tendenciosidade nas estimativas de área basal e volume.

Pode-se verificar que os resultados são aceitáveis, ou seja,  $(FH_0)$  não-significativo a 1% de probabilidade, erro médio percentual não-significativo e  $r_{\hat{V}_2 V_2} > 1 - \text{Bias}$ . As estimativas de produção em volume ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) e área basal ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) foram consideradas exatas e, portanto, precisas.

A terceira etapa da avaliação do modelo consistiu na verificação dos fundamentos biológicos. Para este propósito, foram estabelecidas as seguintes condicionantes:

I - Para a mesma capacidade produtiva, povoamentos com maior área basal inicial resultam, até certo ponto, em maior produção volumétrica em uma mesma idade futura.

II - Para a mesma capacidade produtiva, quanto maior a área basal inicial menor a idade de máxima produtividade (rotação).

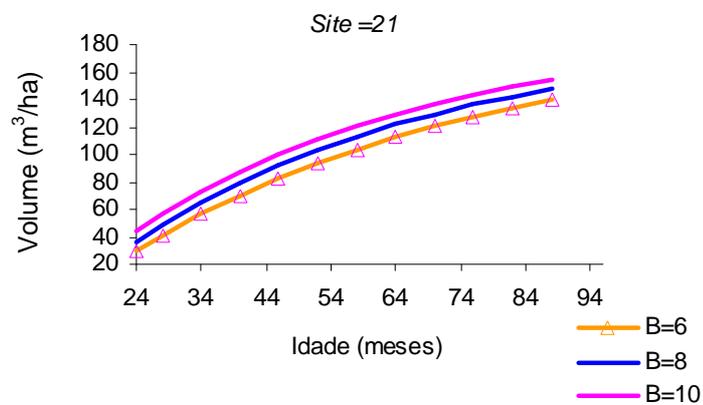
III - Para a mesma área basal inicial, quanto maior a capacidade produtiva ( $S$ ) menor a idade de máxima produtividade (rotação).

IV - Quanto maior a intensidade de desbaste (% de  $B_2$ ), para a mesma capacidade produtiva e área basal inicial, maior a idade do corte final.

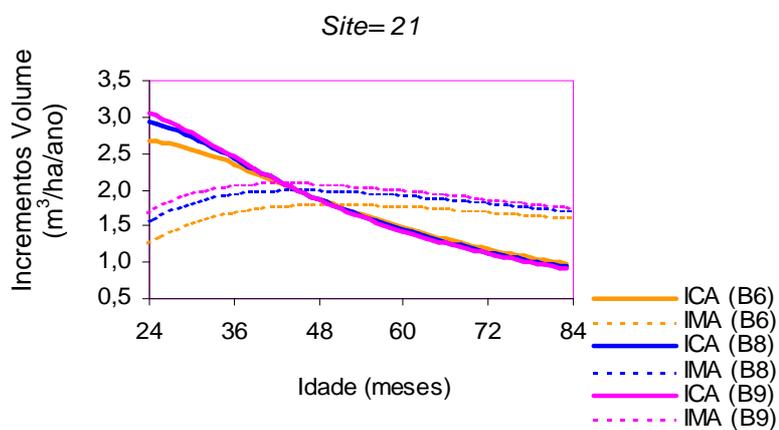
V - Desbastes realizados muito além do início da estagnação do crescimento, definida pela maximização do IMA, podem não resultar em ganho significativo de produção no corte final.

VI - Desbastes efetuados no momento certo resultam em resposta positiva do crescimento em área basal ( $B_2$ ).

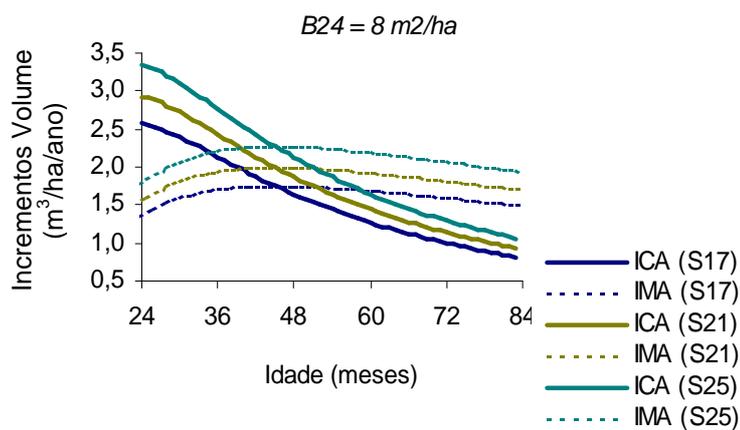
Para verificar essas condicionantes biológicas, foram elaboradas as Figuras 13 e 14. As projeções de volume futuro, para três níveis de áreas basais iniciais e mesma capacidade produtiva ( $S = 21$ ), resultaram na maior produção volumétrica, para projeções feitas a partir da maior área basal inicial  $B_{24} = 10\text{m}^2/\text{ha}$  (13-a). Para mesma capacidade produtiva, projeções de incrementos em volume para três níveis de áreas basais iniciais ocasionaram menor idade técnica de corte, definida como a idade em que o IMA se iguala ao ICA, quando se utilizou a área basal inicial maior ( $9\text{m}^2/\text{ha}$ ) (13-b). Projeções dos incrementos em volume para diferentes capacidades produtivas, considerando a área basal inicial ( $8\text{m}^2/\text{ha}$ ), demonstraram menor idade técnica de corte para índice de local maior ( $S = 25$ ) (13-c). Assim, as condicionantes I, II e III foram atendidas.



(a)

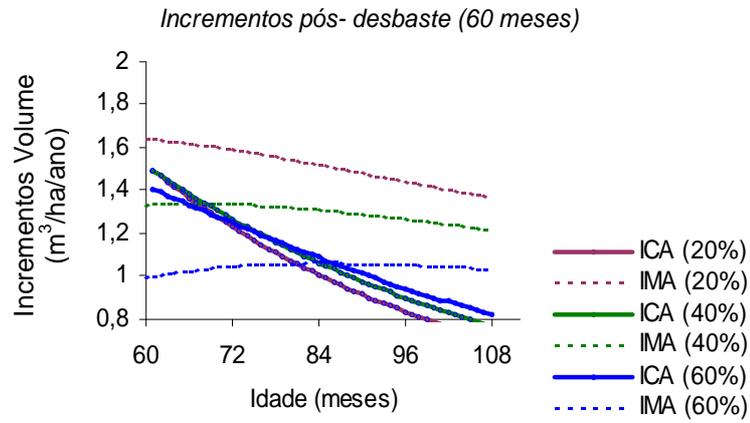


(b)

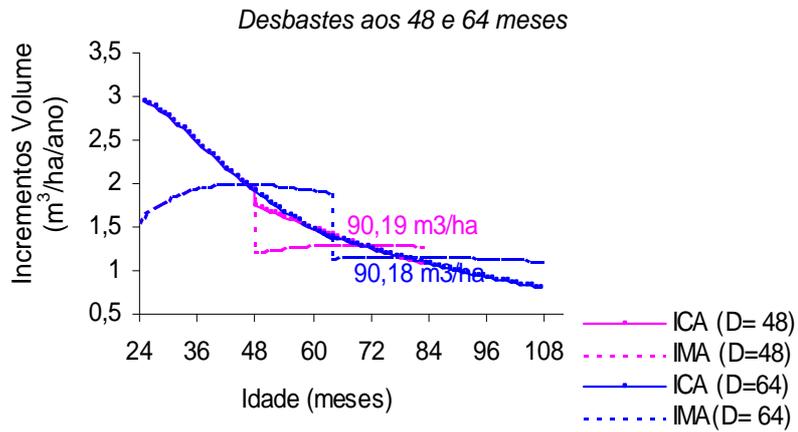


(c)

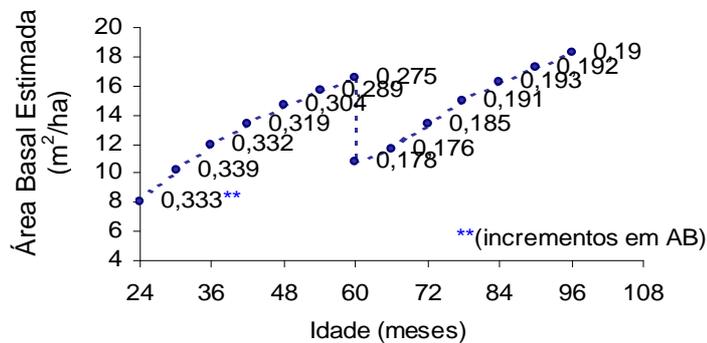
Figura 13 - Gráficos elaborados para verificação do modelo, com base nas condicionantes biológicas de I a III do item 4.4.



(a)



(b)



(c)

Figura 14 - Gráficos elaborados para verificação do modelo, com base nas condicionantes biológicas de IV a VI do item 4.4.

A projeção dos incrementos em volume após a ocorrência de desbaste aos 60 meses, em diferentes intensidades de retirada em área basal, demonstrou ocorrer a postecipação da idade técnica de corte com aumento da intensidade de desbaste (14-a). O desbaste realizado aos 48 meses, na idade técnica de corte, resultou em corte final aos 69 meses, com produção de 90,19 m<sup>3</sup>/ha, porém, o desbaste realizado após a idade técnica de corte, aos 64 meses, resultou em corte final aos 77 meses, com produção volumétrica de 90,18 m<sup>3</sup>/ha no corte final; a idade de corte final foi definida como a idade em que o IMA é máximo após o desbaste (14-b). Observou-se ainda que os incrementos em área basal começaram a diminuir próximo à idade de estagnação do crescimento (48 meses), e após a ocorrência de um desbaste aos 60 meses houve acréscimo dos incrementos em área basal (14-c). Desta forma, as condicionantes IV, V, VI foram atendidas. Concluiu-se, portanto, pela aceitação do modelo e pela sua recomendação para uso no manejo das plantações desbastadas de eucalipto.

Uma vez devidamente avaliado, o modelo foi utilizado para elaborar a tabela de produção de densidade variável sem aplicação do desbaste (Quadro 6) e para a construção da tabela de produção envolvendo simulações de desbastes, avaliadas em retiradas percentuais de área basal (Quadro 7). Utilizou-se a seguinte pressuposição para a construção da tabela:  $\overline{AB}_{27} - \sigma_{27}$  (área basal inicial média aos 27 meses – desvio) para o índice de local 17 (classe de local III);  $\overline{AB}_{27}$  (área basal média) para índice de local 21 (classe de local II) e  $\overline{AB}_{27} + \sigma_{27}$  (área basal inicial média aos 27 meses + desvio), para o índice de local 25 (classe de local I).

Observa-se tendência de decréscimo do volume total remanescente com o aumento da intensidade de desbaste. Obviamente, esta tabela não leva em consideração a idade de rotação técnica diferenciada por intensificação das retiradas em área basal; no Quadro 8, tal fato foi analisado. Cabe lembrar que essas tabelas são úteis em diversas atividades, principalmente em planejamento florestal e em estudos de regulação florestal

Quadro 6 - Tabela de produção de densidade variável para *Eucalyptus urophylla* vs *E. grandis*, nos municípios de Inhambupe e Esplanada, Bahia

Índice de Local	Idade (meses)	Área Basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Volume c/c (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	IMM (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
17	27	7,50 *	34,40	1,27
	30	8,52	41,26	1,38
	33	9,45	47,89	1,45
	36	10,31	54,22	1,51
	39	11,09	60,23	1,54
	42	11,81	65,91	1,57
	45	12,47	71,26	1,58
	48	13,08	76,29	1,59
	51	13,64	81,03	1,59
	54	14,16	85,49	1,58
	57	14,65	89,68	1,57
	60	15,09	93,63	1,56
	63	15,51	97,36	1,55
	66	15,90	100,88	1,53
	69	16,26	104,20	1,51
	72	16,60	107,34	1,49
	75	16,92	110,31	1,47
	78	17,23	113,13	1,45
	81	17,51	115,80	1,43
84	17,78	118,33	1,41	
87	18,03	120,75	1,39	
90	18,27	123,04	1,37	
93	18,49	125,23	1,35	
96	18,71	127,32	1,33	
21	27	8,50 **	42,87	1,59
	30	9,53	50,97	1,70
	33	10,47	58,72	1,78
	36	11,32	66,07	1,84
	39	12,10	73,01	1,87
	42	12,80	79,53	1,89
	45	13,45	85,65	1,90
	48	14,04	91,39	1,90
	51	14,58	96,78	1,90
	54	15,08	101,83	1,89
	57	15,54	106,57	1,87
	60	15,97	111,03	1,85
	63	16,37	115,22	1,83
	66	16,74	119,17	1,81
	69	17,08	122,89	1,78
	72	17,40	126,41	1,76
	75	17,70	129,73	1,73
	78	17,99	132,88	1,70
	81	18,25	135,86	1,68
84	18,51	138,69	1,65	
87	18,74	141,37	1,62	
90	18,97	143,92	1,60	
93	19,18	146,35	1,57	
96	19,38	148,67	1,55	

Quadro 6, Cont.

Índice de Local	Idade (meses)	Área Basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Volume c/c (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	IMM (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
25	27	9,00 ***	50,87	1,88
	30	10,04	60,23	2,01
	33	10,97	69,15	2,10
	36	11,82	77,59	2,16
	39	12,58	85,52	2,19
	42	13,28	92,97	2,21
	45	13,91	99,95	2,22
	48	14,50	106,48	2,22
	51	15,03	112,60	2,21
	54	15,52	118,33	2,19
	57	15,97	123,71	2,17
	60	16,38	128,76	2,15
	63	16,77	133,50	2,12
	66	17,13	137,97	2,09
	69	17,47	142,17	2,06
	72	17,78	146,14	2,03
	75	18,07	149,89	2,00
	78	18,35	153,44	1,97
	81	18,61	156,79	1,94
	84	18,85	159,98	1,90
87	19,08	163,00	1,87	
90	19,29	165,87	1,84	
93	19,50	168,60	1,81	
96	19,69	171,21	1,78	

\*  $\overline{AB}_{27} - \sigma_{27}$ , \*\*  $\overline{AB}_{27}$ , \*\*\*  $\overline{AB}_{27} + \sigma_{27}$ .

#### 4.5. Simulação de desbastes e avaliação econômica

A idade de realização do desbaste poderia ser definida como aquela em que o IMA é máximo para a intensidade de 0% de desbaste (sem desbaste). Este método levaria a uma idade de realização do desbaste além da época de estagnação do crescimento, o que não é conveniente. NOGUEIRA (1999) recomenda definir a idade de realização do desbaste por meio do método dos ingressos percentuais, utilizando para isto a dinâmica de crescimento e ingresso das árvores em sucessivas classes de diâmetros, o que permite determinar a época de iniciar a aplicação do desbaste antes da estagnação do povoamento.

Quadro 7 - Tabela de produção considerando a ocorrência de desbaste aos 58 meses em três porcentagens de retirada em área basal, para *Eucalyptus urophylla* vs *E. grandis*, nos municípios de Inhambupe e Esplanada, Bahia

Idade (meses)	Índice de Local	Área Basal (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	20% de Desbaste			35% de Desbaste			50% de Desbaste		
				AbR	VoIR	VoIF	AbR	VoIR	VoID	AbR	VoIR	VoID
27	21	7,50	39,15									
30	21	8,52	46,97									
34	21	9,74	56,96									
38	21	10,84	66,32									
42	21	11,81	75,02									
46	21	12,68	83,05									
50	21	13,46	90,47									
54	21	14,16	97,30									
<b>58</b>	21	14,80	103,61			<b>15,50</b>			<b>27,83</b>			<b>40,97</b>
58	21	14,80	103,61	11,84	88,11		9,62	75,78		7,40	62,63	
62	21	15,38	109,43	12,48	94,04		10,28	81,67		8,04	68,34	
66	21	15,90	114,82	13,07	99,58		10,89	87,23		8,65	73,78	
70	21	16,38	119,81	13,62	104,76		11,46	92,46		9,22	78,96	
74	21	16,82	124,45	14,12	109,61		12,00	97,39		9,77	83,88	
78	21	17,23	128,76	14,59	114,15		12,50	102,04		10,29	88,56	
82	21	17,60	132,78	15,03	118,41		12,98	106,43		10,78	93,01	
86	21	17,95	136,54	15,44	122,40		13,42	110,57		11,24	97,24	
90	21	18,27	140,05	15,82	126,17		13,84	114,48		11,69	101,26	
94	21	18,57	143,35	16,18	129,71		14,23	118,19		12,10	105,08	
98	21	18,84	146,44	16,51	133,05		14,60	121,69		12,50	108,72	
102	21	19,10	149,35	16,83	136,20		14,95	125,01		12,88	112,18	
106	21	19,35	152,09	17,13	139,19		15,29	128,17		13,24	115,48	
110	21	19,58	154,68	17,41	142,01		15,60	131,16		13,58	118,62	
114	21	19,79	157,12	17,67	144,69		15,90	134,01		13,91	121,63	
118	21	20,00	159,44	17,92	147,23		16,18	136,71		14,22	124,49	

AbR = área basal remanescente (m<sup>2</sup>/ha), VoR = volume remanescente (m<sup>3</sup>/ha) e VoD = volume desbastado (m<sup>3</sup>/ha).

Quadro 8 - Produção volumétrica considerando a ocorrência de desbaste aos 60 meses, para várias intensidades de desbaste

Idades (Meses) Intensidades	24	36	48	60	72	84	96
20%				17,37*	132,81**		
25%				21,90	132,91		
30%				26,50	132,98		
35%				31,20	133,00		
40%				35,99	132,99		
45%				40,90	132,92		
50%				45,93	132,79		
55%				51,10		146,84**	
60%				56,44		146,50	
65%				61,95			158,34**
70%				67,69			157,57

\* Volume desbastado aos 60 meses ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ).

\*\* Volume colhido na idade de rotação técnica ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) (volume desbastado + volume do corte final).

Para utilização da tabela de produção de densidade variável com simulações de desbastes nas análises econômicas, considerou-se um único desbaste aos 60 meses. Estabeleceu-se como idade de realização do corte final (rotação técnica) a idade em que ocorre o ponto de máximo incremento médio anual (IMA), após a ocasião do desbaste.

Simulando desbastes na idade de 60 meses (Quadro 8), foram relacionados os volumes retirados e colhidos no corte final do povoamento. Com o aumento da intensidade de desbaste, ocorre a postecipação da idade técnica de corte, em consequência de diferenças na retomada do crescimento de acordo com a intensidade de desbaste.

Quando foram consideradas as intensidades de 20 a 50% de desbaste, com a mesma idade de rotação técnica de 72 meses, observou-se pequeno decréscimo dos volumes colhidos no corte final, o que comprova haver pouca influência do desbaste na produção total.

Para análise econômica, determinaram-se as receitas, segundo o volume de madeira proveniente do desbaste x preço de U\$15.00/ $m^3$  e da madeira do corte final x preço de U\$25.00/ $m^3$ , com taxas de juros de 5, 8 e 10% a.a. As informações de custos das operações que foram executadas na área estão relacionadas no Quadro 9.

Quadro 9 - Custo das operações florestais executadas na área, em dólares/ha

Item	Ano de Ocorrência	Valor (US\$.ha <sup>-1</sup> )
Custo de Implantação	0	500.00
Custo Manutenção 1	Anual	10.00
Custo Manutenção 2	5	34.00
Custo Manutenção 3	Ano do corte final	34.00
Custo Exploração (desbaste)	5	V x 10 (US\$.m <sup>-3</sup> )
Custo Exploração (Custo final)	Ano do corte final	V x 8 (US\$.m <sup>-3</sup> )
Administração		15% do C.Total

Cada intensidade de desbaste foi considerada como um projeto. Para comparação dos projetos, utilizou-se o benefício periódico equivalente (BPE). Por se tratar, neste estudo, de projetos com durações diferentes, tal critério é mais indicado por trazer o valor dos custos ou das receitas por unidade de tempo, o que permite comparar projetos com horizontes de planejamento diferentes.

A partir do desbaste realizado aos cinco anos, foram calculados os valores de BPE ocorridos ao final do horizonte, indicado pela idade de rotação técnica de cada projeto. Variações de taxas de juros, áreas basais iniciais e índices de local estão relacionadas nos Quadros de 10 a 12.

Os resultados obtidos mostram receita líquida positiva para qualquer um dos projetos, independente da taxa de juros e das características do povoamento. No entanto, ocorreu decréscimo dos benefícios (BPE) com o aumento da intensidade de desbaste e da taxa de juros.

Observou-se, ainda, um aumento considerável dos benefícios obtidos com o desbaste, quando foram comparados os locais de melhor capacidade produtiva (Quadro 12) com os locais de pior capacidade (Quadro 10). Isto se deve ao melhor desenvolvimento do povoamento em local de melhor produtividade, o que evidencia que a técnica de desbaste aplicada nesses locais, possivelmente, refletirá melhor na rentabilidade do empreendimento.

Considerando mesma taxa de juros, para diferentes capacidades produtivas (Quadros de 10 a 12), observa-se que o aumento na retirada de madeira em volume (m<sup>3</sup>) deverá ocasionar aumento nos custos de exploração,

Quadro 10 - Estimativa dos benefícios periódicos equivalentes (US\$.ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), obtidos na idade de rotação técnica para várias intensidades de desbaste, considerando uma área basal inicial aos 24 meses de 7,5 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para o índice de local 17

Rot. Técnica (meses) Intensidades	5% a.a.*			8% a.a.			10% a.a.		
	72	84	96	72	84	96	72	84	96
<b>20%</b>	108.94			80.89			62.62		
<b>25%</b>	102.07			74.57			56.65		
<b>30%</b>	94.99			68.07			50.50		
<b>35%</b>	87.69			61.36			44.16		
<b>40%</b>	80.14			54.42			37.60		
<b>45%</b>	72.32			47.23			30.80		
<b>50%</b>	64.19			39.75			23.73		
<b>55%</b>		95.94			67.62			49.22	
<b>60%</b>		86.65			59.26			41.43	
<b>65%</b>			81.72			53.45			35.14
<b>70%</b>			72.59			45.43			27.79

\* Taxa de juros.

Quadro 11 - Estimativa dos benefícios periódicos equivalentes(US\$.ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) obtidos na idade de rotação técnica para várias intensidades de desbaste. considerando uma área basal inicial aos 24 meses de 8,5 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para o índice de local 21

Rot. Técnica (meses) Intensidades	5% a.a.*			8% a.a.			10% a a.		
	72	84	96	72	84	96	72	84	96
<b>20%</b>	151.24			120.15			99.97		
<b>25%</b>	143.19			112.75			92.98		
<b>30%</b>	134.90			105.14			85.78		
<b>35%</b>	126.36			97.28			78.36		
<b>40%</b>	117.52			89.16			70.68		
<b>45%</b>	108.36			80.74			62.72		
<b>50%</b>	98.83			71.98			54.44		
<b>55%</b>		132.44			101.13			80.86	
<b>60%</b>		121.61			91.39			71.79	
<b>65%</b>			113.29			82.13			62.03
<b>70%</b>			102.70			72.82			53.50

\* Taxa de juros.

Quadro 12 - Estimativa dos benefícios periódicos equivalentes (US\$.ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>), obtidos na idade de rotação técnica para várias intensidades de desbaste, considerando uma área basal inicial aos 24 meses de 9,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para o índice de local 25

Rot.Técnica (meses) Intensidades	5% a.a.*			8% a.a.			10% a.a.		
	72	84	96	72	84	96	72	84	96
<b>20%</b>	195.36			161.10			138.93		
<b>25%</b>	186.08			152.57			130.87		
<b>30%</b>	176.52			143.79			122.57		
<b>35%</b>	166.67			134.73			114.01		
<b>40%</b>	156.48			125.36			105.16		
<b>45%</b>	145.91			115.65			95.98		
<b>50%</b>	134.92			105.55			86.43		
<b>55%</b>		170.8			136.37			114.14	
<b>60%</b>		158.3			125.17			103.71	
<b>65%</b>			145.0			113.19			92.55
<b>70%</b>			134.5			101.79			80.68

\* Taxa de juros.

diminuindo o benefício periódico equivalente ao final do horizonte, havendo uma inversão destes valores quando se trabalha com intensidades entre 50 e 55%, devido à diluição de custos em um horizonte maior, além da incorporação da receita proveniente dos desbastes.

Para as intensidades entre 55 e 70%, o decréscimo acentua-se novamente, o que indica que os custos adicionais de conduzir por mais um ano não estão sendo compensados pelas receitas adicionais obtidas.

É importante salientar que o valor da madeira do corte final foi considerado constante ao longo do tempo, independente das suas dimensões e da extensão do horizonte de planejamento. Porém, é esperado que a madeira proveniente de um povoamento onde foi aplicado desbaste apresente acréscimo nas suas dimensões e melhoria na qualidade, com um maior valor no mercado.

Não foi objetivo do trabalho definir a intensidade ótima de desbaste, apenas analisar os resultados obtidos com simulações de diferentes intensidades de desbaste, com base na produção e análise econômica.

Como a análise econômica envolve uma planilha de custos das operações executadas no projeto e receitas obtidas com a venda da madeira, é aconselhável que os custos advindos do desbaste sejam compensados com um acréscimo na receita. Portanto, os resultados apresentados nos Quadros de 10 a 12 serão específicos para cada novo estudo, podendo até haver uma inversão dos benefícios obtidos com as simulações de desbaste.

É recomendável, para estudos desta natureza, que haja maior investigação nos dados de custos e que se faça uma pesquisa de mercado para a madeira proveniente do desbaste, sendo estes os indicadores de maior lucratividade do empreendimento.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este estudo foi desenvolvido com dados de um experimento de desbaste estabelecido em povoamentos de híbrido de *Eucalyptus urophylla* vs *Eucalyptus grandis*, da Empresa COPENER FLORESTAL Ltda., no município de Alagoinhas, Bahia. Os objetivos básicos foram avaliar a eficiência do modelo de CLUTTER (1963) em prever o crescimento e a produção em volume e área basal, em povoamentos de eucalipto submetidos à desbaste, e obter tabelas de produção de densidade variável, com e sem desbaste. O objetivo secundário foi avaliar, sob o aspecto técnico e econômico, o efeito de algumas intensidades de desbaste.

O experimento foi conduzido em blocos, com quatro tratamentos correspondendo a diferentes porcentagens de área basal removida em cada desbaste, localizados de forma seletiva em três locais (*installations*), abrangendo locais de capacidades produtivas diferentes, totalizando 48 parcelas, com área útil média de 2.600 m<sup>2</sup> cada uma. As medições das parcelas foram feitas nas idades 27, 40, 50, 58 61 e 76 meses, tendo sido registrados a altura e o diâmetro da copa, a altura total da maioria das árvores e o Dap de todas as árvores contidas nas parcelas. O desbaste foi realizado na ocasião da quarta medição, aos 58 meses.

Para determinação da produção total em volume e área basal, empregando o modelo de CLUTTER (1963), foi necessário utilizar uma equação de altura total, uma equação para estimar volumes individuais e,

também, dados de idade e altura de cinco árvores dominantes de cada parcela, para proceder à classificação da capacidade produtiva. Para esse propósito, o método da curva-guia foi considerado o mais adequado, quando comparado aos métodos das curvas correlacionadas e da predição de parâmetros.

Para avaliar a eficiência do modelo ajustado e verificar a existência ou não de tendenciosidade nas estimativas, foram utilizadas as estatísticas: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), correlação ( $r$ ), erro médio percentual ( $\bar{e}\%$ ), *Bias* e teste de validação F de Graybill, além de análise gráfica de resíduos. O modelo foi também avaliado segundo pressuposições biológicas. Os resultados obtidos indicaram não haver tendências nas estimativas de volumes futuros e apresentaram diferenças não-significativas entre os volumes estimados pelo modelo de Clutter (1963) e aqueles observados.

O modelo, devidamente avaliado, foi utilizado na construção de tabelas de densidade variável, o que tornou possível fazer simulações de alternativas de desbaste, para diferentes capacidades produtivas. Análises econômicas foram feitas, utilizando dados de custo de desbaste, colheita e condução dos povoamentos, juntamente com dados de preços de madeira. As comparações entre as intensidades de desbaste, definidas individualmente como projetos, foram feitas mediante o emprego do benefício periódico equivalente.

Em decorrência dos resultados, as seguintes conclusões foram obtidas:

- O sistema analisado é eficiente para estimar a produção presente e futura do volume e da área basal em povoamentos desbastados de eucalipto.

- O modelo de Clutter (1963), ajustado aos dados de plantações desbastadas, atende a pré-requisitos tanto estatísticos como biológicos.

- A produção volumétrica total é pouco influenciada pelas diferentes intensidades de desbastes em área basal, na idade de estagnação do crescimento.

- A idade de corte, correspondente à rotação técnica, tende a ser mais tardia quanto maior for a intensidade de desbaste.

- O aumento na intensidade do desbaste pode ser inversamente proporcional aos benefícios, avaliados pelo critério econômico BPE, quando não houver diferenciação no valor da madeira de acordo com o porte das árvores cortadas.

- Para melhor detectar a rentabilidade do empreendimento florestal ao adotar o desbaste, é necessário utilizar preços compatíveis com a melhor qualidade e o maior porte da madeira no corte final.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se fazer uma investigação mais detalhada dos custos envolvidos na condução do povoamento considerado neste estudo e, na ocasião do corte final, fazer uma comparação entre as características da madeira colhida e da madeira proveniente de povoamentos não-desbastados, com o propósito de atribuir valores mais realistas e, conseqüentemente, validar melhor a análise econômica.

Neste estudo, utilizou-se apenas um preço para a madeira proveniente do desbaste; para a madeira do corte final, observa-se a necessidade de fazer simulações de diferentes preços de madeira, uma vez que há esta variação de preços ao longo do tempo.

Para as simulações de intensidades de desbaste, a idade de corte final foi definida na idade técnica de corte, porém, nem sempre a idade técnica de corte dos povoamentos coincide com a idade econômica de corte, sendo necessário determinar a idade técnica e econômica de corte final em um povoamento desbastado.

Reafirma-se também a necessidade de fazer uso de ferramentas como a programação dinâmica, com objetivo de determinar a intensidade ótima de desbaste.

Recomenda-se estudar a influência do desbaste no rendimento em produção de madeira serrada, envolvendo aspectos relacionados à matéria-prima, como densidade, teor de umidade, proporção de madeira adulta e juvenil, diâmetro da tora, retidão e uniformidade da tora.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, E.N. **O eucalipto**. 2.ed. São Paulo: Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961, 667p.
- BERTOLOTTI, G., SIMÕES, J.W., NICOLIELO, N., GARNICA, J.B. Efeitos de diferentes métodos e intensidades de desbastes na produtividade de *Pinus caribaea*. var. hondurensis Barr. Et. Golf. **Revista IPEF**, n.24, p.47-54,1983.
- BUCKMAN, R.E. **Growth and yield of red pine in Minnesota**. Washington, D.C: USDA, 1962. 50 p. (Tech Bull, 1272).
- CAMPOS, A.L.A.S **Desenvolvimento de um sistema compatível de crescimento e produção para manejo de *Eucalyptus grandis* (W.HILL ex. Maiden)**. Viçosa. MG: UFV, 1986. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1986a.
- CAMPOS, J.C.C. Aplicação de um modelo compatível de crescimento e produção de densidade variável em plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.2, n.10, p.121-134,1986b.
- CAMPOS, J.C.C; RIBEIRO, J.C. Efeito da qualidade de local na rotação técnica de eucalipto. **Revista Árvore**, v.11, n.2, p.146-157, 1987.
- CAMPOS, J.C.C., SILVA CAMPOS, A.L.A., LEITE, H.G. Decisão silvicultural empregando um sistema de predição do crescimento e da produção. **Revista Árvore**, v.12, n.2, p. 100-110, 1988.

- CAMPOS, L.J.D. **Prognose por classe de diâmetro a partir de modelos do tipo povoamento total**. Viçosa, MG: UFV, 1997, 53p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- 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, G.H., BAILEY, R.L. **Timber management. A quantitative approach**, New York: John Wiley e Sons, 1983. 333p.
- FISHWICK, P.W. Estudos de espaçamentos e desbastes em plantações brasileiras. **Brasil Florestal**, v.7, n.26, p.13-23, 1976.
- FLOR, H.M. **Princípios e métodos silviculturais tropicais**. Brasília, DF: FAO, 1984.194p.
- FERREIRA, A.B.H. **Novo Dicionário da língua portuguesa**. 2.ed. Rio de Janeiro; Nova Fronteira, 1986. 1.838p.
- GARCIA, S.L.R. Ingresso percentual: teoria e aplicações em ciência florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, 1999. (no prelo)
- GLUFKE, C., FINGER, C.A.G., SCHENEIDER, P.R. Crescimento de *Pinus elliotii* sob diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, v.7, n.1, p.11-26, 1997.
- GUIMARÃES, D.P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 160p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- LEITE, H.G. **Ajuste de um modelo de estimação de frequência e produção por classe de diâmetro, para povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith**. Viçosa, MG: UFV, 1990. 78p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- LEITE, H.G., GUIMARÃES, D.P., CAMPOS, J.C.C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, v.19, n.1, p.65-79, 1995.

- LISITA, A. **Efeitos de reespaçamentos no crescimento e na produção de povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*** Procedência Petford. Viçosa, MG: UFV, 1997. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- NOGUEIRA, G.S. **Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 62p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- PECE DE RIOS, M.G.V. **Um modelo de crescimento e produção aplicado a plantações de *Eucalyptus pellita*.** Viçosa, MG: UFV, 1993. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- RESENDE, R.R. **Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto.** Viçosa, MG: UFV, 1991. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- ROLLINSON, T.J.D. **Thinning Control.** 3.ed. London: Her Majesty's Stationery Office, 1988. 56p.
- ROSAS, M.P. **Alternativas de determinação da idade técnica de corte de *Eucalyptus urophylla*.** Viçosa, MG: UFV, 1994. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal.** Santa Maria: UFSM, 1993. 348p.
- SCOLFORO, J.R.S., MACHADO, S.A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Ciência Florestal**, n.50, p.51-64, 1996.
- SIMÕES, J.W., FERREIRA, M. Resultados do desbaste em 14 espécies de eucalipto para produção de madeira e sementes. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, 1997, Salvador, Ba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. v.3, p.343-348.
- SMITH, D.M. **The practice of silviculture.** New York: John Wiley & Sons, 1962. 578p.

- SOARES, C.P.B. **Um modelo para o gerenciamento da produção de madeira em plantios comerciais de eucalipto.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 71p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- SOUZA, R.N. **Efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volume de *Eucalyptus grandis* (W.Hill ex- Maiden).** Viçosa, MG: UFV, 1988. 74p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- SPINA-FRANÇA, F. **Efeito do número de árvores remanescentes na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* em segunda rotação.** Piracicaba: ESALQ, 1989. 142p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1989.
- STAPE, J.L., MARTINI, E.L. Desbaste de Eucalyptus: opção de manejo para áreas com limitações ambientais ao corte raso. In: ENCONTRO TÉCNICO FLORESTAL, 5, 1991, Belo Horizonte, MG. **[Anais...]** [S.L:s.n.], 1991. p.30-51.
- TREVIZOL JÚNIOR, T.L. **Análise de um modelo compatível de crescimento e produção em plantações de *Eucalyptus grandis* (W.Hill ex-Maiden).** Viçosa, MG: UFV, 1985. 74p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1985.
- VALE, A.B., OLIVEIRA, A.D., FELFILI, J.M., QUINTAES, P.C.G. Desbastes florestais. **Brasil Florestal**, Brasília, DF.v.13, n.59, p.45-57, 1984.
- VEIGA, A.R. Desbastes em função da área basal. **Silvicultura em São Paulo**, v.1, n.1, p.61-69, 1962.
- VEIGA, A.R. **Coletânea de assuntos técnicos.** São Paulo: Instituto Florestal, 1976. 130p.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A



Figura 1A - Fotografias da copa das árvores após a aplicação dos tratamentos de 1 a 4, pertencentes a instalação 3, bloco 2 e repetição 4 do projeto C (Lagoa do Bu).



Figura 2A - Fotografias do fuste das árvores após a aplicação dos tratamentos de 1 a 4, pertencentes a instalação 3, bloco 2 e repetição 4 do projeto C (Lagoa do Bu).

## APÊNDICE B

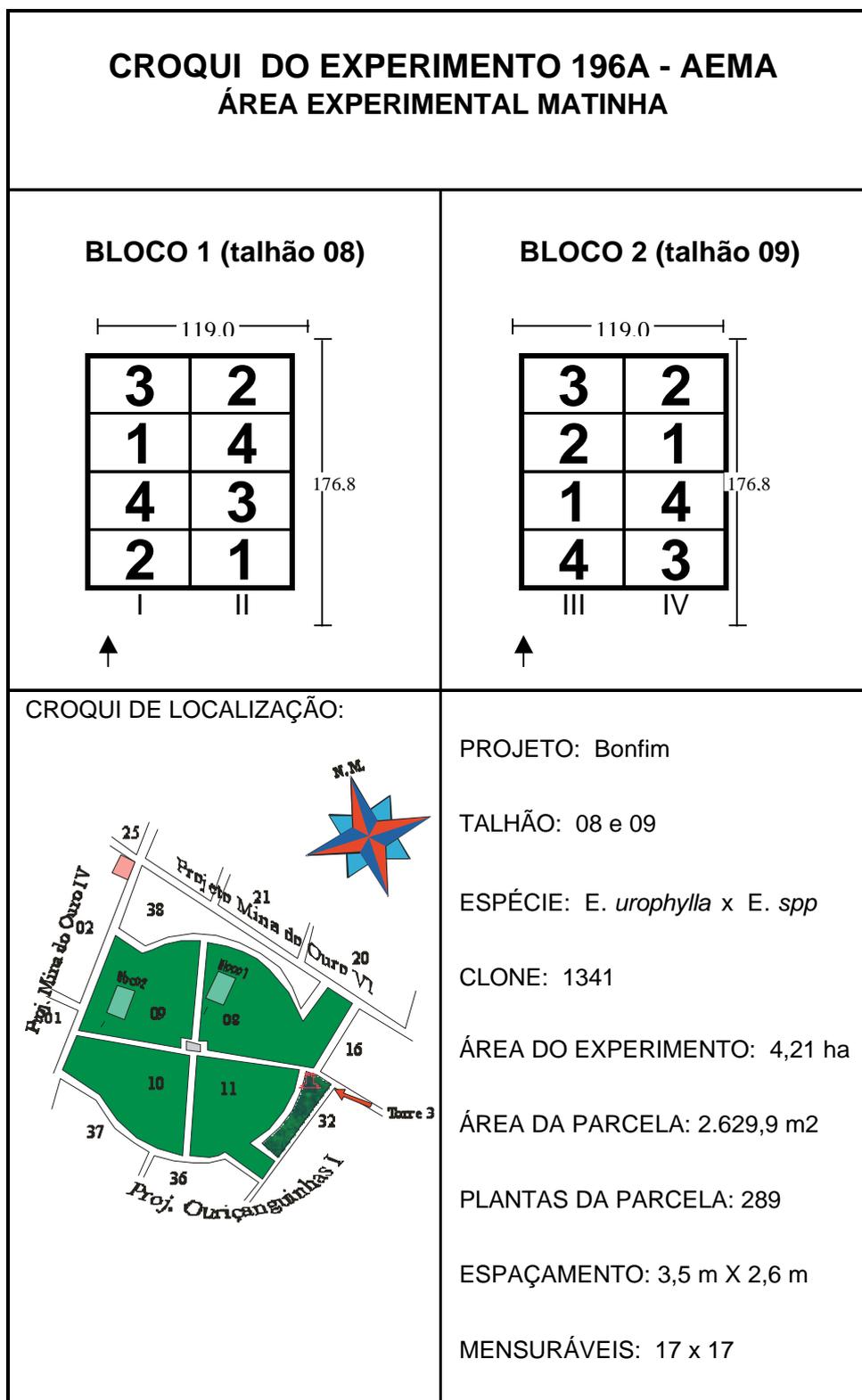


Figura 1B - Croqui do experimento 196 A (Projeto Bonfim).

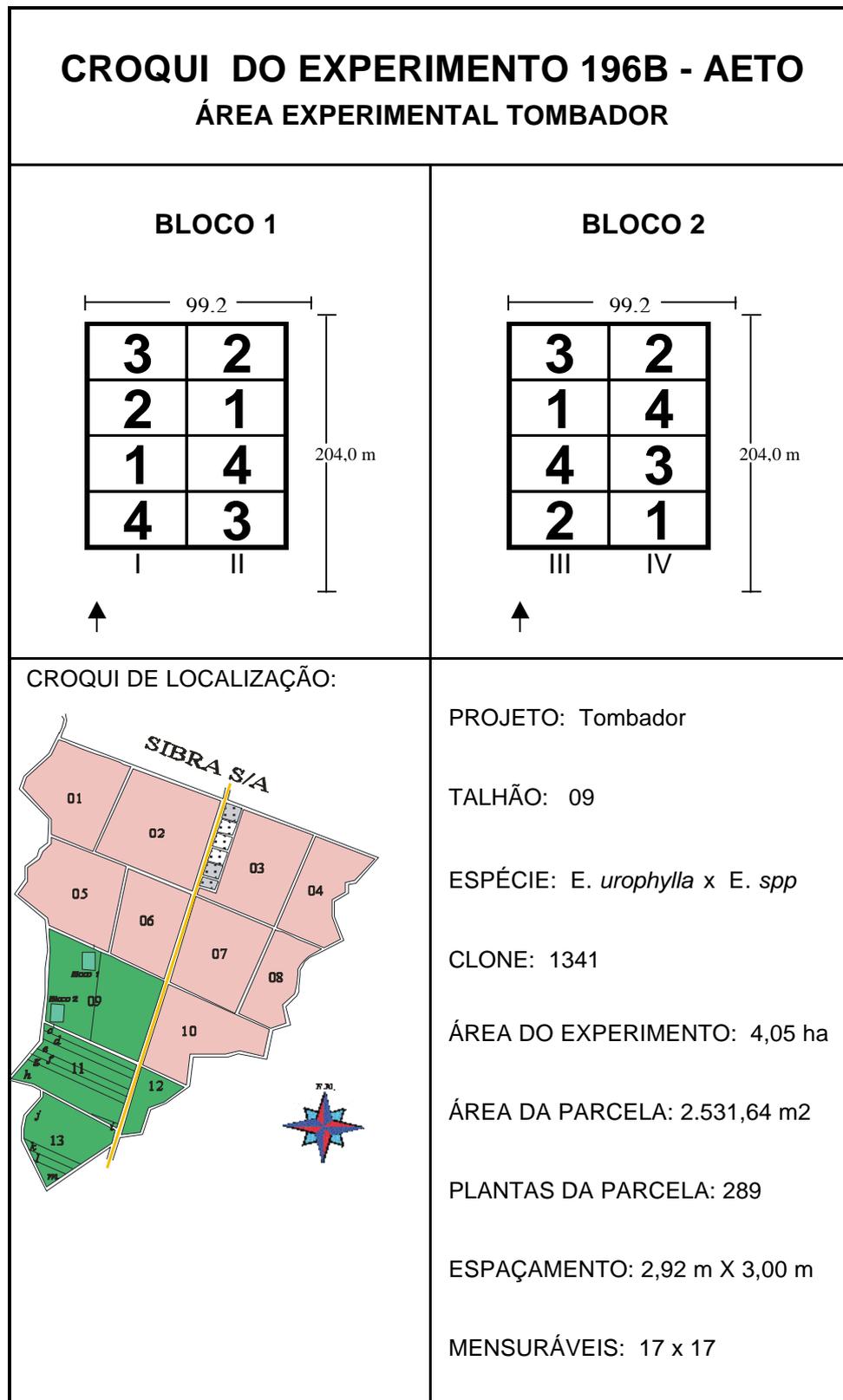


Figura 2B - Croqui do experimento 196 B (Projeto Tombador).

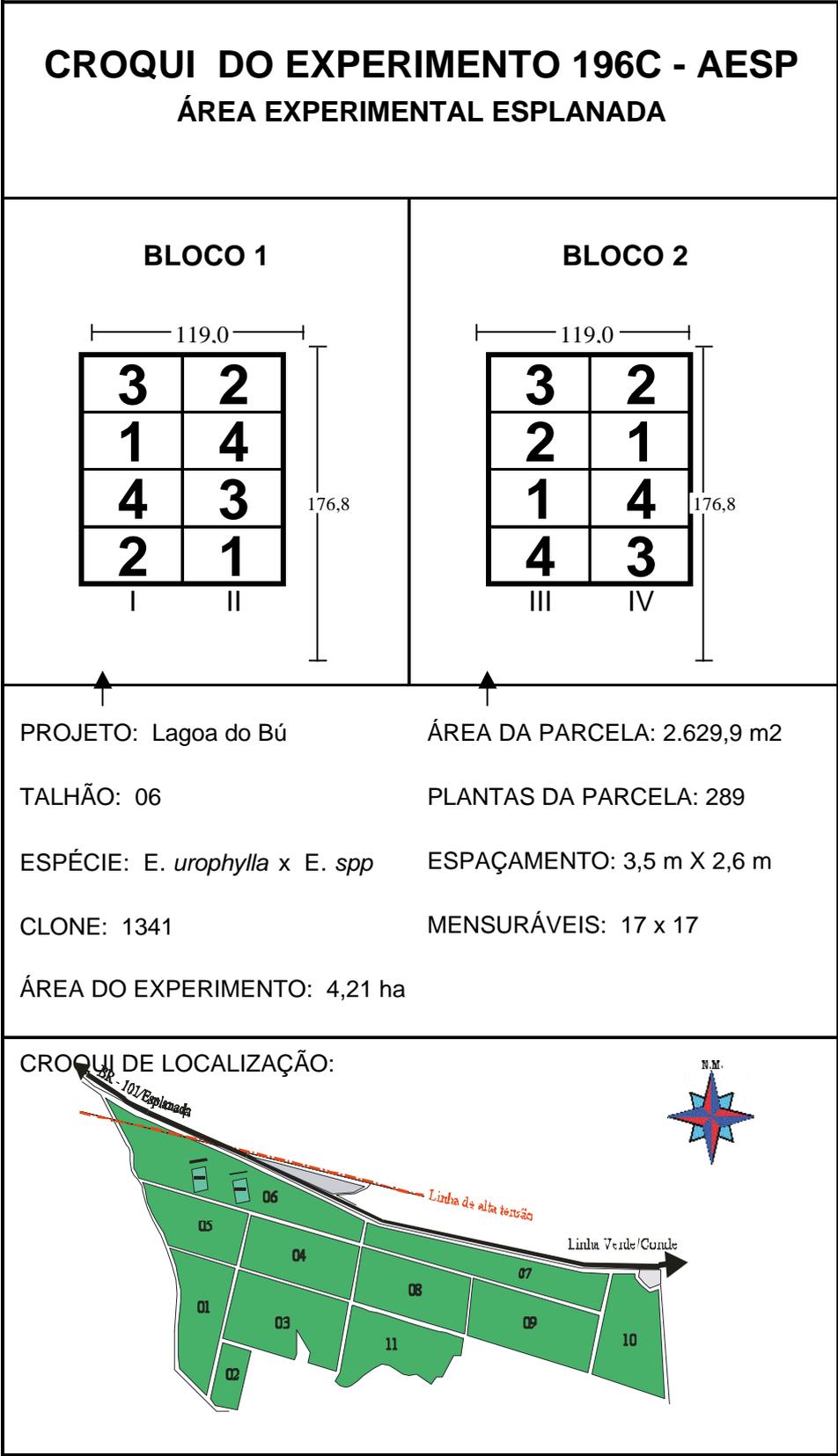


Figura 3B - Croqui do experimento 196 C (Projeto Lagoa do Bú).