

Prognose do Crescimento Volumétrico Individual de Árvores de *Eucalyptus*, em Povoamentos na Região Centro Sul

Marcio Pinheiro Ferrari¹
Carlos Alberto Ferreira²
Helton Damin da Silva³
Roberto Trevisan⁴

RESUMO

A prognose do crescimento volumétrico individual foi realizada com dados de um ensaio de adubação de *Eucalyptus dunnii* e de competição de espécies incluindo *E. bicostata*, *E. "cambiju"* (híbrido natural), *E. deanei* e *E. viminalis*, implantados em Vila Velha, Ponta Grossa, Paraná. Utilizou-se para este estudo o método das regressões sucessivas modificado para a forma exponencial, incluindo como constante o volume aos três anos de idade. Os coeficientes de correlação obtidos, os erros padrão das estimativas e a distribuição de resíduos, para os modelos propostos no presente estudo, demonstraram a possibilidade do uso do método das regressões sucessivas, modificado para a forma exponencial, com a inclusão do volume na idade base de três anos, e a expectativa de sobrevivência ao longo da rotação, para a prognose de volumes individuais de árvores de espécies de *Eucalyptus*. A precisão da prognose é alta para espécies bem adaptadas, que apresentem sobrevivência elevada, até o final da rotação por exemplo *E.deanei* e *E. dunnii*. O *E. "cambiju"* apresentou acentuado decréscimo de sobrevivência ao longo da rotação. Neste caso, para maior precisão, foi necessário a inclusão no modelo do valor da recíproca da sobrevivência. Populações com baixo potencial de crescimento, apresentam

¹ Engenheiro Florestal, Mestre, Pesquisador da *Embrapa Florestas* (in memoriam).

² Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. calberfe@yahoo.com.br

³ Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. helton@cnpf.embrapa.br

⁴ Engenheiro Florestal, Bacharel, Gerente Florestal da Arauco Forest do Brasil.

rtrevisan@araucodobrasil.com.br

volumes individuais e populacionais baixos, mesmo com alta sobrevivência. O *E. viminalis* e o *E. cambiju*, ambos com baixa sobrevivência ao final da rotação, apresentaram volumes individuais mais elevados que as outras espécies, em idades mais elevadas, exceto *E. dunnii*.

Palavras-chave: Eucalipto, prognose, volume individual, sobrevivência.

Prognosis of the Volume Growth of Eucalypts Trees, in Plantations, in the Southern Region of Brazil

ABSTRACT

This paper deals with the prognosis of the individual volumetric growth of *Eucalyptus* species in the Brazilian South Region. It was accomplished in a fertilizer trial with *Eucalyptus dunnii* and a competition trial among species (*E. bicostata*, *E. "cambiju"* - natural hybrid, *E. deanei* and *E. viminalis*) implanted in Vila Velha, PR. The method of successive regressions, modified to the exponential form, including the volume at three years of age and survival was applied. The results gave evidence of acceptable efficiency of the method to estimate individual volumetric growth of the trees of the stands, especially for *E. deanei* and *E. dunnii*, species well adapted to the region. However, species with low growth potential, for example *E. bicostata*, presented low individual and stand volumes at the end of the rotation, despite its high survival. It was necessary to include survival in the model, for better accuracy for *E. "cambiju"* with decreasing survival along the rotation.

Keywords: *Eucalyptus*, individual growth, volume, projection, survival.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos de crescimento e produção tem sido classificados como modelos aplicados a povoamentos e a árvores individuais. Os modelos podem também projetar outros parâmetros relativos aos povoamentos, como diâmetro médio, área basal, altura e número médio de árvores por área. Os modelos, para árvores individuais, são ainda classificados como dependentes da distância entre árvores ou espaciais e não dependentes ou não espaciais (MABVURIRA & MIINA, 2002).

O crescimento das árvores é influenciado pelo grau de competição exercido pelas árvores localizadas nas suas vizinhanças. A aplicação de modelos de crescimento individual de árvores é bastante complexa, exigindo descritores dos povoamentos e localizadores geográficos posicionais para as árvores objeto de estudo. Entretanto, de forma geral estas informações relativas à localização das árvores não estão disponíveis em inventários florestais comuns.

A possibilidade do uso de equações quadráticas simples, para expressar o crescimento de *E. grandis* em povoamentos não desbastados, com densidades variando de vinte e cinco a 6670 árvores por hectare, e idades de até vinte e cinco anos, foi demonstrada por Bredenkamp (1983), que relata, entretanto, algumas distorções para os limites extremos de variação dos dados.

O método das regressões sucessivas tem sido utilizado, com sucesso, por vários autores para prognose de crescimento populacional de *Eucalyptus sp* na região dos cerrados de São Paulo, (FERREIRA, 1978, COUTO & BASTOS, 1986). A mesma metodologia, modificada, foi aplicada por Guimarães (1982), para *E. grandis*, em outras regiões do cerrado e de floresta tropical e por Ferreira & Trevisan (2001) para plantios na região Centro Sul do Brasil.

Descrição do método pode ser encontrada em Ferreira (1978), Couto & Bastos (1986) e Ferreira (1989). Apesar de sua simplicidade, a precisão do método é elevada e Couto & Bastos (1986) apresentam exemplos de sua validação. A limitação principal apontada pelos autores para o método é a necessidade de obtenção dos dados sempre múltiplos inteiros de um ano. Entretanto, Guimarães (1982), Ferreira (1989), Ferreira & Trevisan (2001) expressaram os coeficientes das regressões individuais em função da idade base de prognose,

tornando possível a projeção mesmo baseada em idades fracionárias. Recomendam os últimos autores que a metodologia seja estendida para outras espécies comercialmente importantes como o *Eucalyptus dunnii*.

A função de Chapman tem aplicações as mais variadas na ciência florestal, onde processos de crescimento sigmoidais são representados. Ferreira & Trevisan (2001) utilizaram este modelo e o compararam com o das regressões sucessivas obtendo resultados similares para espécies de eucalipto apropriadas para reflorestamento na região sul do Brasil. Entretanto, esta metodologia necessita de uma série temporal completa e de uma estimativa do valor máximo a ser alcançado pela variável a ser prognosticada. Venus & Causton (1979) recomendaram o uso deste modelo pela flexibilidade e por fornecer parâmetros com significado biológico. Barros et al. (1984) utilizaram o modelo para análise do crescimento de *E. saligna* sob diferentes níveis de N, P e K no Vale do Jequitinhonha. Ferreira (1989) simulou respostas do *E. saligna* a diferentes dosagens de formulações completas de N:P:K no cerrado do Estado de São Paulo.

Este trabalho apresenta modificação do modelo de regressões sucessivas, adaptando-o para o prognóstico do crescimento individual de árvores. A idade base para projeção é o volume ao terceiro ano de idade, a expectativa de sobrevivência dos *Eucalyptus dunnii*, *E. "cambiju"* (híbrido natural), *E. deanei*, *E. viminalis*, e *E. globulus* var. *bicostata* também foi incluída no modelo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração deste trabalho foram utilizados dados de um ensaio de competição de espécies implantado em área da Empreendimentos Florestais Agroflora Ltda., localizada em Vila Velha, Paraná. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por 96 árvores incluindo as bordaduras, sendo 32 mensuráveis. O espaçamento usado foi de 2,5 x 2,0 m sendo que todas as árvores receberam 150g da formulação N:P:K (7:28:12), no momento do plantio. As espécies componentes do experimento foram as seguintes: *E. "cambiju"* (híbrido natural), *E. deanei*, *E. viminalis*, *E. globulus* var. *bicostata* e *E. nitens* não foi incluído na presente análise. O *E. nitens* devido a sua inadaptação, refletida pela baixa

sobrevivência, não foi incluído. Embora apresentando crescimento muito baixo em relação às outras espécies o *E. globulus* var. *bicostata*, foi mantido para as análises e objetivos deste trabalho. Para o *Eucalyptus dunnii*, foram utilizadas parcelas de um experimento de adubação mineral e orgânica implantado na Fazenda Experimental da Embrapa Negócios Tecnológicos.

Foram registrados anualmente os valores referentes ao diâmetro à altura do peito, altura total e sobrevivência. Os cálculos de volume cilíndrico, e estimativas de volumes seguiram metodologia padrão, ou seja o produto da altura pela área basal à altura do peito. O volume assim obtido pode ser corrigido usando-se os fatores apropriados para as outras expressões do volume. Para execução da prognose adotou-se o método das regressões sucessivas modificado para a forma exponencial: Devido às elevadas diferenças de sobrevivência observadas entre as diferentes espécies testadas incluiu-se também no modelo o valor da recíproca da sobrevivência expressa em números decimais.

$$V_i = V_0 \cdot e^{(a + b_1 \cdot li - b_2 \cdot li^2) \cdot 1/s}$$

Onde :

V_i = volume previsto para idade qualquer superior aos três anos

V_0 = volume obtido na idade de três anos

li = idade qualquer para projeção entre 4 e 7 anos

a , b_1 e b_2 = são coeficientes a serem estimados

s = sobrevivência em números decimais

Os coeficientes foram obtidos com o ajuste de regressões não lineares aos dados de anos consecutivos incluindo como constante o volume na idade base de projeção, no caso três anos.

Para validação dos modelos e regressões obtidas, uma das repetições de cada espécie foi sorteada e não incluída para o ajuste dos coeficientes. Posteriormente, os volumes obtidos foram comparados com os volumes prognosticados para essas mesmas repetições.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os coeficientes dos modelos de crescimento e os percentuais médios de sobrevivência ao final da rotação das diferentes espécies de eucaliptos estudadas. Os altos valores dos coeficientes de determinação (R^2) e o erro padrão percentual relativamente baixo, bem como a distribuição não tendenciosa dos resíduos obtidos, para a maioria das espécies, indicam que as equações são adequadas para a finalidade proposta, ou seja a predição dos volumes individuais das árvores. Observou-se também que o uso de uma equação geral não permite estimativas com o mesmo grau de ajuste, mas é aceitável quando não se requeira precisão elevada.

A comparação entre as estimativas de volume calculadas e os valores obtidos na repetição não incluída para o cálculo dos coeficientes das equações (Tabela 2) demonstra, para a maioria das espécies e idades, aproximações bastante aceitáveis. Entretanto, a sobrevivência ao longo da rotação influencia o volume final da árvore na idade de projeção, especialmente para o *E. cambiju*. Assim, os modelos que incluíram a sobrevivência como variável independente resultaram em melhores ajustes, para o *E. cambiju*, e para o conjunto de todas as espécies. O mesmo não foi observado para o *E. viminalis*, embora a sobrevivência do mesmo tenha sido reduzida em função da idade. A razão para isso talvez tenha sido que a sobrevivência do *E. viminalis* se apresentou baixa desde o plantio. Para as espécies que mantiveram sobrevivência elevada durante toda a rotação, a inclusão da sobrevivência no modelo não melhorou o ajuste. Nestes casos, o valor da recíproca da sobrevivência, em números decimais, aproxima-se de um, portanto, modificando muito pouco as estimativas obtidas sem a sua inclusão.

Estas equações permitem a elaboração de tabelas de produção sem a necessidade de dados cumulativos para uma mesma parcela, apenas com dados de dois anos consecutivos de parcelas quaisquer e o volume no terceiro ano, portanto auxiliam muito no caso de espécies recém introduzidas.

A projeção de volumes individuais de árvores depende do número inicial de plantas, do estágio de desenvolvimento e da sobrevivência da espécie ao longo da rotação e do total de chuvas (SOARES & LEITE, 2000) . Embora as espécies incluídas neste trabalho sejam relativamente tolerantes às geadas, estas também devem ser levadas em consideração devido a seu efeito na redução do crescimento e da sobrevivência das árvores.

Tabela 1. Coeficientes de determinação e das equações obtidas e sobrevivência das espécies de *Eucalyptus* estudadas.

Espécies	Estimativa dos coeficientes para função de crescimento				S _{xy} %	% sobrevivência média ao final da rotação
	a	b1	b2	R ²		
<i>E. bicostata</i> (1)	-2,034	0,862	0,058	0,905**	0,30	91
<i>E. cambiju</i> (1)	-2,467	1,050	0,068	0,984**	1,71	75
(2)	-2,928	1,116	0,081	0,987**	1,50	
<i>E. deanei</i> (1)	-2,620	1,124	0,076	0,985**	1,65	85
(2)	-2,785	1,124	0,076	0,984**	1,60	
<i>E. viminalis</i> (1)	-2,967	1,267	0,083	0,782**	2,44	57
(2)	-3,188	1,184	0,078	0,751**	2,78	
<i>E. dunnii</i> (1)	-1,536	0,739	0,042	0,626**	3,47	97
Todas as espécies (médias)	-2,574	1,097	0,072	0,837**		
(todos valores)	-2,269	0,914	0,063	0,553**	3,02	
(2)	-2,048	0,814	0,054	0,660**	2,80	

** significativo a 1% de probabilidade.

(1) Volume base de projeção três anos de idade.

(2) Sobrevivência incluída no modelo.

Tabela 2. Volumes individuais estimados para cada espécie pelas equações de projeção e volumes observados para as parcelas não incluídas na obtenção das equações.

Idade (anos)	E. bicostata		E. cambiju		E. deanei		E. viminalis		E. dunnii	
	Estimado	Obtido	Estimado	Obtido	Estimado	Obtido	Estimado	Obtido	Estimado	Obtido
3		0,0207		0,0377		0,0327		0,0270		0,1422
4	0,0336	0,0360	0,0754	0,0745	0,0633	0,0676	0,0620	0,0560	0,2129	0,2310
5	0,0460	0,0453	0,1118	0,1076	0,0982	0,0928	0,0986	0,1000	0,2428	0,3168
6	0,0591	0,0585	0,1505	0,1133	0,1323	0,1328	0,1413	0,1410	0,2733	0,4063
7	0,0659	0,0645	0,1798	0,1206	0,1500	0,1486	0,1732	0,1671	0,3728	0,4527

No caso em que a espécie apresente baixo potencial de crescimento, mesmo que associado a sobrevivências elevadas, o volume individual será baixo e o volume populacional também. Um exemplo neste trabalho é o *E. bicostata* (ver Figuras 1 e 2). Por outro lado o *E. viminalis* apresentou sobrevivência inicial baixa, e esta decresceu com a idade. Os volumes individuais do *E. viminalis*, aos sete anos de idade foi mais elevado que os observados para outras espécies (*E. bicostata*, *E. cambiju*, *E. deanei*). Isto provavelmente ocorreu devido à menor sobrevivência, observada desde o plantio, e seu decréscimo em função da idade. As árvores de *E. viminalis* dispuseram de maior espaço para seu desenvolvimento, mas mesmo assim não atingiram os volumes alcançados pelo *E. dunnii*. No caso do *E. dunnii* a sobrevivência foi elevada e uniforme, durante toda a rotação, e o crescimento individual e populacional altos refletindo o potencial da espécie (Figuras 1 e 2 e Tabela 2). A tendência observada com relação à sobrevivência para o *E. deanei* foi a mesma que o *E. dunnii*, isto é, manteve-se no mesmo patamar do momento do plantio, entretanto os volumes ao final da rotação foram mais baixos.

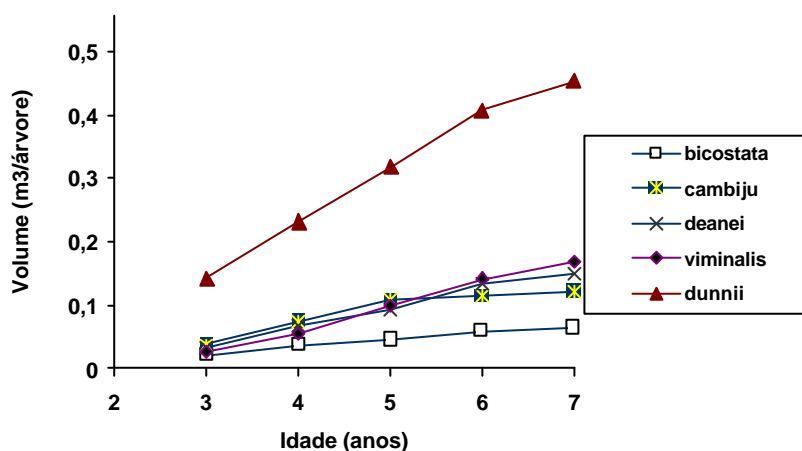


Figura 1. Volumes individuais cilíndricos obtidos para cada espécie.

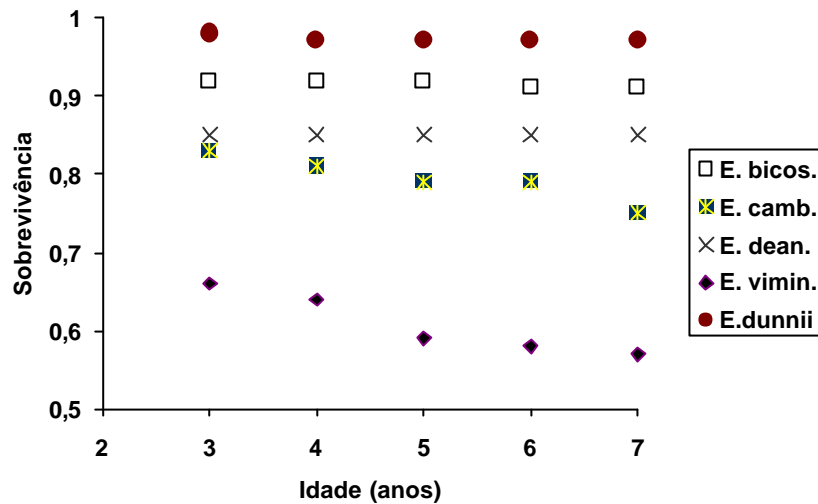


Figura 2. Sobrevivência das diferentes espécies ao longo da rotação, na região Centro Sul do PR, expressa em números decimais.

A metodologia proposta neste trabalho é de aplicação bastante simples permitindo estimativas rápidas, sem perdas elevadas de precisão. Entretanto, havendo necessidade de precisão elevada e bases de dados mais completas, outras metodologias podem ser mais recomendáveis, como a proposta por Mabvurira & Miina (2002).

A utilização do sistema proposto pode ser uma alternativa viável quando não se dispõe de dados mais completos ou se esteja trabalhando com espécies cujos plantios são mais recentes. Ao adotar-se manejo para toras de grandes diâmetros, para laminação e serrados, o volume individual da tora passa a ser o referencial de valorização da madeira, e não mais o volume populacional da floresta.

4. CONCLUSÕES

Os coeficientes de correlação obtidos, os erros padrão das estimativas e a distribuição de resíduos, para os modelos propostos no presente estudo,

demonstraram a possibilidade do uso do método das regressões sucessivas, modificado para a forma exponencial, com a inclusão do volume na idade de três anos, e a expectativa de sobrevivência ao longo da rotação, para a prognose de volumes individuais de árvores de espécies de *Eucalyptus*, na região Centro Sul do Paraná.

A precisão da prognose é relativamente alta para espécies bem adaptadas, que apresentem sobrevivência elevada, até o final da rotação, por exemplo *E.deanei* e *E. dunnii*. Para a espécie que apresentou acentuado decréscimo de sobrevivência ao longo da rotação tornou-se necessário incluir no modelo o valor da recíproca da sobrevivência por exemplo *E. "cambiju"*.

5. REFERÊNCIAS

BARROS, N. F. de.; SILVA, O. M.; PEREIRA, A. R.; BRAGA, J. M.; LUDWIG, A. Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N, P e K no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, Piracicaba, n. 26, p. 13-17, 1984.

BREDENKAMP, B. V. Simple quadratic equations can express growth of unthinned *Eucalyptus grandis*. In: IUFRO. Groupe Sectoriel S4.01.00 Mesures, Croissance et Production. **Mesures des biomasses et des accroissements forestiers**. Paris: INRA, 1983. p. 135-142. (Les Colloques de l'INRA, n. 19). Comptes rendus de la réunion qui s'est tenue du 3 au 7 octobre 1983 à Orléans, France.

COUTO, H. T. Z. do; BASTOS, N. L. M. Second rotation *Eucalyptus* growth curves for the State of São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 34, p.15-21, 1986.

FERREIRA, C. A. Inventário em florestas de eucalipto e projeções de crescimento. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 17, p. 23-40, 1978.

FERREIRA, C. A. **Nutritional aspects of the management of *Eucalyptus* plantations on poor sandy soils of the cerrado region**. 1989. 193 f. Thesis

(Doctor of Philosophy) – Oxford Forestry Institute, Oxford.

FERREIRA, C. A.; TREVISAN, R. Prognose do crescimento volumétrico de espécies de *Eucalyptus* para a Região Centro Sul do Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 42, p. 71-82, 2001.

GUIMARAES, D. P. **Predição do crescimento volumétrico de *Eucalyptus grandis***. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1982. 11 p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de pesquisa, 9).

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

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G. Predição da produção de madeira de eucalipto em região com alta variabilidade pluviométrica. **Scientia Forestalis**, n. 58, p. 41-48, 2000.

VENUS, J. C.; CAUSTON, D. R. Plant growth analysis: the use of the Richards function as an alternative to polynomial exponentials. **Annals of Botany**, n. 43, p. 623-632, 1979.