

EFEITO DO ESPAÇAMENTO E DA ADUBAÇÃO NO CRESCIMENTO DE UM CLONE DE *Eucalyptus saligna* Smith

GROWTH RATE OF *Eucalyptus saligna* Smith CLONE AFFECTED BY SPACING AND FERTILIZATION

Rute Berger¹ Paulo Renato Schneider² César Augusto Guimarães Finger³ Clóvis Roberto Haselein⁴

RESUMO

O efeito do espaçamento (3 x 2, 3 x 3 e 3 x 4 m) e da adubação (400 e 800 kg/ha) sobre o crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith foi avaliado neste trabalho. O crescimento em diâmetro (DAP), altura e volume comercial sem casca por árvore foi estudado dos três aos dez anos de idade, sendo os dados ajustados pela função de Backman. Mediante de análise de covariância foi possível verificar que os tratamentos de mesmo espaçamento apresentaram tendências de crescimento estatisticamente iguais para todas as variáveis estudadas. O fator adubação não mostrou influência significativa para a maioria dos tratamentos das variáveis estudadas, em todo o período observado. O fator espaçamento teve influência marcante no crescimento em diâmetro e volume comercial sem casca por árvore. Para a variável altura, apenas as árvores pertencentes ao menor espaçamento mostraram tendência de diminuição do crescimento em altura média no tempo. A produção em volume comercial sem casca por hectare foi menor para os tratamentos que constituíam o maior espaçamento, sendo que, praticamente, não diferiu entre os dois menores.

Palavras-chave: espaçamento, fertilização, *Eucalyptus saligna*.

ABSTRACT

In this research, the spacing (3 x 2, 3 x 3 and 3 x 4 m) and fertilization (400 and 800 kg/ha) effects on growth of *Eucalyptus saligna* clone were studied. The growth in diameter at breast height (Dbh), height (h) and volume per tree were studied from ages between three and ten years, using the Backman's function. By covariance analysis it was possible to verify that the treatments with the same spacing showed same growth pattern, for all variables. During all observed period, the fertilization treatment had no effect on mostly of the studied characteristics. The factor spacing had outstanding influence in the growth in diameter and commercial volume without bark per tree. Only the trees under the smallest spacing showed a trend of growing slowly in height over time. The volume yield per ha without bark was smaller for the treatments with larger spacing. No differences in volumetric production were found between the two smaller spacings.

Key words: spacing, fertilization, *Eucalyptus saligna*.

INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* é amplamente plantado no Brasil para a produção de madeira para diversas finalidades, em razão do seu rápido crescimento, da boa adaptação ecológica e da boa qualidade da madeira. O *Eucalyptus saligna* é uma das espécies mais estudadas, e de modo geral, apresenta características satisfatórias para emprego em diversos fins, especialmente para a indústria de celulose/papel, chapas de fibra e uso energético, entre outros.

A utilização de clones para a formação de florestas foi um dos avanços que possibilitou maior produção, melhoria da qualidade e homogeneização da matéria-prima utilizada pela indústria. Porém, a

1. Engenheira Florestal, Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). paulors@ccr.ufsm.br
3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). finger@ccr.ufsm.br
4. Engenheiro Florestal, PhD., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). haseleic@ccr.ufsm.br

Recebido para publicação em 29/09/2000 e aceito em 29/07/2002.

adoção de técnicas de implantação e manejo visando à obtenção de povoamentos regulares e produtivos, que satisfaçam economicamente as condições de implantação e colheita, continua indispensável, quando se trata de obter plantios com fins industriais.

Entre os diversos fatores condicionantes da produção florestal, o espaçamento e a fertilização exercem papéis fundamentais no estabelecimento, condução da floresta e custos de produção, uma vez que podem influenciar a taxa de crescimento das árvores, a qualidade da madeira, a idade de corte bem como práticas de implantação, manejo e colheita (Balloni e Simões, 1980).

A previsão do crescimento de uma floresta, por meio de curvas de projeção do desenvolvimento em diâmetro, altura e volume, é a condição básica em qualquer processo de planejamento sensato. Existem diversas razões para a predição de crescimento, tais como o planejamento da produção, mediante a determinação da idade ótima e econômica de corte; o planejamento e a pesquisa silvicultural que permitem agrupar espécies e procedências, e analisar eficientemente os experimentos florestais; assim como o manejo ambiental e pesquisa ecológica, visando a estudos de luminosidade, biomassa e exportação de nutrientes nas diversas fases de crescimento.

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar o comportamento do crescimento em diâmetro, altura e volume de um clone de *Eucalyptus saligna*, sob diferentes condições de espaçamento e fertilização.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Mediante uso de modelos matemáticos de predição de crescimento e produção é possível o estudo de alternativas de manejo para diferentes condições de sítio, idades de desbaste e níveis de intervenção. Em nível de indústria, os modelos de crescimento fornecem informações para o planejamento global da empresa, ao possibilitar a estimativa da disponibilidade futura de madeira, permitindo à empresa dimensionar áreas, prever expansões, adquirir ou vender madeira no mercado, entre outros (Marcolin e Couto, 1993). A possibilidade de determinar a época ideal de corte com base no máximo rendimento volumétrico constitui uma das principais aplicações dos modelos de crescimento (Campos *et al.*, 1986).

A necessidade crescente de conhecimento da situação presente dos povoamentos, bem como sua dinâmica, tem conduzido a um contínuo aprimoramento das técnicas de construção de modelos de crescimento e produção, os quais podem ser definidos como um conjunto de relações matemáticas que descrevem quantitativamente um sistema, representado neste caso pelo povoamento florestal. Além de informações sobre o estoque presente e suas mudanças com o tempo, é de interesse para o manejador conhecer o efeito da aplicação de técnicas silviculturais como o controle do espaçamento, intensidade de desbaste e adubação (Campos *et al.*, 1986).

Husch *et al.* (1972) afirmaram que cada espécie e talvez cada árvore necessita de um determinado período para completar seu ciclo biológico. Os autores destacaram que, por meio de técnicas silviculturais, como a adoção de diferentes espaçamentos iniciais e a aplicação de fertilizantes, se pode mudar o comportamento do crescimento e antecipar o culminio das curvas de incremento.

Finger (1992) apresenta algumas funções para descrever o crescimento da floresta em função do tempo, destacando as funções de Korsun, Richards, Mitscherlich e Backman.

Além de ter influência marcante na produção, o espaçamento afeta significativamente os custos de implantação, manutenção e exploração da floresta (Mello *et al.*, 1976) e pode afetar a qualidade da madeira produzida (Berger, 2000). As decisões sobre espaçamentos não podem ser tomadas sem o conhecimento mais preciso da influência destes na qualidade dos produtos obtidos (Brasil e Ferreira, 1971).

Campos *et al.* (1977), Schneider (1993), dentre outros confirmam a influência do espaçamento entre árvores sobre as características de crescimento (volume, diâmetro e/ou altura) e sobrevivência dos povoamentos. Já é consagrado, com poucas contestações, que espaçamentos reduzidos produzem diâmetros menores, sendo que, em termos de produção total por área, estes apresentam maior área basal e volume por hectare. O contrário ocorre em maiores espaçamentos.

Teoricamente, a competição entre plantas em busca de luz é muito mais intensa nos espaçamentos mais reduzidos, em razão da necessidade da árvore ampliar ao máximo a superfície foliar e cobrir sua

necessidade de assimilação, estimulando assim o crescimento em altura (Silva, 1990). Porém, uma diminuição da altura média com o uso de espaçamentos menores foi observada por Balloni e Simões (1980) que comentaram a existência de várias controvérsias em relação à influência do espaçamento sobre o crescimento em altura da árvores.

A fertilização é a ferramenta mais comum e talvez de ação mais efetiva que se dispõe para melhorar a qualidade do sítio e, com isso, aumentar a taxa de crescimento. A quantidade, tipo e a época de aplicação dos fertilizantes podem vir a ocasionar alterações na produção e qualidade da madeira, sendo que tais mudanças dependem da espécie e da fertilidade do solo. Mello *et al.* (1970) afirmam que o aumento da produção de madeira alcançado em seus estudos é decorrente da ação dos fertilizantes minerais no desenvolvimento das árvores em altura e diâmetro. Os autores sugerem que, do ponto de vista econômico, seria interessante que esse aumento de volume fosse obtido para um menor número de árvore por hectare, resultando em árvores de maior diâmetro e de maior altura pela aplicação de fertilizantes. Foi encontrado um aumento de 44% na produção de madeira em áreas adubadas, sugerindo que poderia haver uma redução de mesma grandeza no capital investido em terras e despesas de florestamento (preparo de solos, plantio, produção de mudas, tratamentos culturais, etc.). Além disso, não houve efeito negativo da adubação na qualidade da madeira, sendo o rendimento e a qualidade da celulose consideradas normais.

MATERIAL E MÉTODO

Características do experimento

Os dados e o material para este estudo foram coletados em um povoamento clonal experimental, de propriedade da empresa Klabin-Riocell S.A., localizado no Horto Florestal Passo da Estância, município de Barra do Ribeiro (RS). O experimento está localizado a, aproximadamente, 30° 20' de latitude sul e 51° 26' de longitude oeste, sendo que a região se situa a uma altitude em torno de 100 metros.

As mudas utilizadas na instalação do experimento são de origem clonal, sendo denominadas na empresa como “clone 4013 II” de *Eucalyptus saligna* Smith. Essas mudas foram produzidas por meio de estacas enraizadas, conduzidas em casa de vegetação, pertencente ao viveiro florestal da empresa.

O solo da área em estudo pertence à Unidade de Mapeamento Camaquã que se caracteriza por ser predominantemente do tipo podzólico vermelho amarelo, de textura argilosa e relevo ondulado a fortemente ondulado. São solos profundos e bem-drenados (Lemos *et al.*, 1973). O clima da região é do tipo “Cfa”, subtropical úmido, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado por apresentar temperatura média anual de 18 a 19,3°C. A precipitação anual é superior a 1.200 mm, podendo ocorrer ligeira estiagem de novembro à março (Moreno, 1961).

O experimento foi implantado em junho de 1988, sendo estabelecidas seis parcelas de 50 x 60 m em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial, sendo os fatores os espaçamentos e os níveis as doses de adubo. Os espaçamentos estudados foram: 3 x 2 m, 3 x 3 m e 3 x 4 m (6, 9 e 12 m², respectivamente) e a fertilização, com adubo de nome comercial FOSNAP (fosfato natural ativado), nas doses de 400 e 800 kg/ha, distribuído a lanço. Os tratamentos utilizados são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Distribuição dos espaçamentos e das doses de adubo nos tratamentos.

TABLE 1: Spacing and fertilization doses distribution in the treatments.

Tratamentos	Espaçamentos (m)	Espaço Vital (m ²)	Adubação (kg/ha)
T1	3 x 2	6	400
T2	3 x 3	9	400
T3	3 x 4	12	400
T4	3 x 2	6	800
T5	3 x 3	9	800
T6	3 x 4	12	800

Em cada uma das parcelas, foram alocadas duas subparcelas permanentes, com tamanho fixo de 144 m², para medição das variáveis dendrométricas. O preparo do solo foi feito com escarificador e

gradagem, sendo que antes desta foi realizada a adubação. O plantio foi feito em solo úmido, em dia sem vento e com temperatura em torno de 20°C.

Obtenção dos dados

Para o estudo do crescimento em diâmetro, altura e volume do clone nos diferentes tratamentos, foram tomadas a partir do terceiro ano (1991), as informações de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura (h), coletadas anualmente nas subparcelas permanentes de medição, até os 10 anos de idade (1998). O volume comercial sem casca (vcsc) por árvore, em m³, foi estimado mediante uma equação de volume (modelo de Prodan), apresentada por Schneider (1997), ajustada pela cubagem de amostras coletadas durante as medições das parcelas. O volume comercial sem casca por hectare foi obtido por meio do somatório dos vcsc por árvore em cada subparcela de 144 m², sendo o resultado transformado para valor por hectare.

Análise estatística

Para o estudo do comportamento do crescimento em DAP, altura e volume comercial sem casca por árvore em função da idade, para cada tratamento, foi ajustada a função de crescimento de Backman, pelo pacote estatístico Statistical Analysis System (SAS, 1993).

Essa função é expressa por:

$$Y = e^{b_0 + b_1 \ln t + b_2 \ln^2 t}$$

Em que: Y = tamanho da variável na idade t; t = idade; b₀, b₁, b₂ = coeficientes do modelo.

Para estudar as tendências de crescimento em DAP, altura e vcsc por árvore, em todos os tratamentos estudados, foi utilizada a análise de covariância (Anacova), ao nível de 5% de probabilidade de erro, que permitiu avaliar estatisticamente a diferença entre níveis e inclinação das curvas de crescimento, verificando a possibilidade de agrupar curvas (tratamentos) com mesmo padrão. Após a primeira análise, mediante o auxílio de avaliação gráfica, foram agrupados os dados das curvas de tendência semelhante, para a realização de nova Anacova, com o objetivo de confirmar se os tratamentos realmente apresentavam mesmo padrão de crescimento. Essas avaliações foram realizadas por meio do seguinte modelo matemático:

$$Y = f [\ln t, \ln^2 t, \text{tratamento}, (\text{idade} \times \text{tratamento})]$$

Em que: Y = DAP, altura e volume comercial sem casca por árvore; t = idade; idade x tratamento = interação das idades pelos tratamentos.

A produção em volume comercial sem casca por hectare foi estudada pela análise gráfica das curvas de crescimento. Os valores por idade foram obtidos da multiplicação do volume por árvore da curva de crescimento em volume comercial sem casca por árvore pelo número de árvores de cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento em diâmetro

A Tabela 2 mostra os coeficientes e as estatísticas do modelo ajustado para descrever o crescimento da variável DAP em função da idade, para cada tratamento.

TABELA 2: Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento do diâmetro à altura do peito (DAP), em cm, ao longo do tempo (anos).

TABLE 2: Coefficients and statistics of the Backman function, fitted to describe the diameter growth at breast height, in cm, through the time (years).

Número de Tratamento	Coeficientes			Estatísticas		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	S _{yx}	F
1	1,726037	0,733439	-0,081398	0,52	0,1788	170
2	1,597869	1,088226	-0,180885	0,86	0,0774	698
3	0,968054	1,864382	-0,383754	0,57	0,2045	118
4	1,528414	1,054284	-0,190669	0,62	0,1297	274
5	1,474959	1,252535	-0,230919	0,86	0,0786	663
6	1,328172	1,510905	-0,293873	0,82	0,0991	376

Em que: R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro-padrão da estimativa; F = estatística F calculado; b₀, b₁, b₂ = coeficientes.

O modelo apresentou estatísticas razoáveis, tanto para R^2 , com valores variando entre 0,52 (tratamento 1) e 0,86 (tratamentos 2 e 5), quanto para S_{yx} , com valores variando entre 0,0774 cm (tratamento 2), e 0,2045 cm (tratamento 3). Os valores de F calculado apresentaram-se significativos, variando de 118 a 698.

Essas equações foram utilizadas para estimar o DAP médio de cada tratamento em função da idade. Os pares de dados (idade e DAP estimado) são representados graficamente na Figura 1.

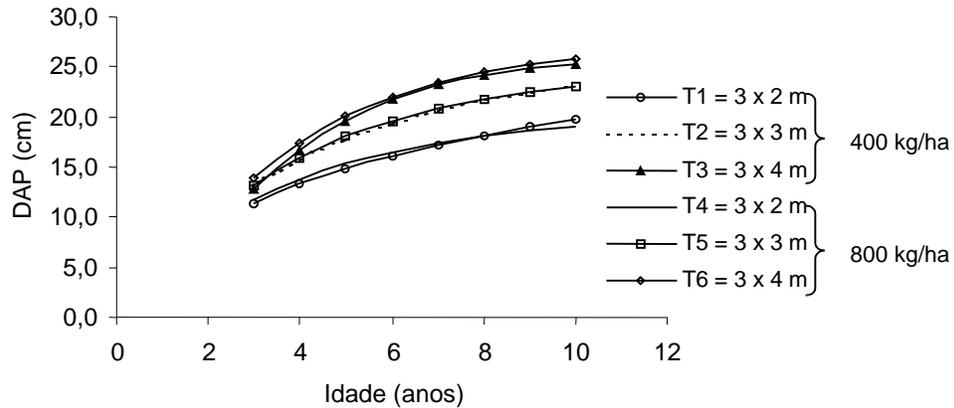


FIGURA 1: Valores estimados de diâmetro à altura do peito (DAP) em função da idade, ajustados pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

FIGURE 1: Estimated values of diameter at breast height as a function of age adjusted by the Backman function, for the treatments studied.

Conforme esperado, os tratamentos, que possuíam a maior área vital, apresentaram os maiores diâmetros em, praticamente, todo o período observado, não havendo evidência do efeito adubação.

O resultado da Anacova, para testar a existência de paralelismo e níveis semelhantes entre curvas, mostra que a hipótese de igualdade de inclinação (idade x tratamento) e de níveis (tratamento) das curvas de crescimento em DAP é rejeitada ao nível de 5% de probabilidade de erro, indicando a existência de, pelo menos, dois padrões de crescimento diferenciados dentre os tratamentos estudados (Tabela 3).

Com o auxílio da Figura 1, pode-se verificar que os padrões de crescimento são semelhantes para os tratamentos que constituem o mesmo espaçamento, sendo que nova Anacova foi realizada para os tratamentos 1 e 4 (6 m²), 2 e 5 (9 m²), 3 e 6 (12 m²) respectivamente, para comprovar a existência ou não dessa tendência. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6.

TABELA 3: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP) dos tratamentos estudados.

TABLE 3: Covariance analysis to check the paralelism and diference between levels of the diameter growth curves at breast height, of the treatments studied.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Tratamento	5	17,2570	3,4514	170,37	0,0001
Coeficientes:	ln t	51,4650	51,4650	2540,47	0,0001
	ln ² t	1,2496	1,2496	61,69	0,0001
Idade x Tratamento	5	0,4126	0,0825	4,07	0,0011
Erro	1428	28,9285	0,0202	-	-
Total	1440	99,3127	-	-	-

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

Pode-se constatar mediante esta análise que, para os tratamentos 3 e 6 (Tabela 6), a hipótese de igualdade de níveis é rejeitada, havendo superioridade de nível do tratamento 6 em relação ao tratamento 3 (mais evidenciado dos 3 aos 5 anos de idade), sugerindo influência do fator adubação para tais tratamentos. Entretanto, segundo a mesma análise, as curvas apresentam o mesmo padrão de crescimento, não diferindo estatisticamente em inclinação ao longo do período estudado, sendo aceita a hipótese de igualdade para a probabilidade de erro estabelecida (5%). Para os demais tratamentos, a Anacova mostra que aqueles de mesmo espaçamento não apresentam diferenças de nível e no padrão de crescimento em diâmetro, evidenciando que o fator adubação não teve influência sobre o crescimento em diâmetro entre os tratamentos 1 e 4, e entre os tratamentos 2 e 5.

TABELA 4: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP) para os tratamentos 1 e 4.

TABLE 4: Covariance analysis to check the paralelism and difference between levels of the diameter growth curves at breast height, for the treatments 1 and 4.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Tratamento	1	0,0768	0,0768	3,18	0,0750
Coeficientes: ln t	1	19,6907	19,6907	815,75	0,0001
	1	0,2448	0,2448	10,14	0,0015
Idade x Tratamento	1	0,0797	0,0797	3,30	0,0697
Erro	640	15,4484	0,0241	-	-
Total	644	35,5404	-	-	-

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

TABELA 5: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP) para os tratamentos 2 e 5.

TABLE 5: Covariance analysis to check the paralelism and difference between levels of the diameter growth curves at breast height, for the treatments 2 and 5.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Tratamento	1	0,0007	0,0007	0,12	0,7295
Coeficientes: ln t	1	16,1834	16,1834	2659,34	0,0001
	1	0,3686	0,3686	60,57	0,0001
Idade x Tratamento	1	0,0012	0,0012	0,19	0,6612
Erro	443	2,6959	0,0061	-	-
Total	447	19,2498	-	-	-

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

TABELA 6: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP) para os tratamentos 3 e 6.

TABLE 6: Covariance analysis to check the paralelism and difference between levels of the diameter growth curves at breast height, for the treatments 3 and 6.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Tratamento	1	0,1976	0,1976	6,41	0,0118
Coeficientes: ln t	1	15,9105	15,9105	515,74	0,0001
	1	0,8401	0,8401	27,23	0,0001
Idade x Tratamento	1	0,0109	0,0109	0,35	0,5523
Erro	343	10,5815	0,0308	-	-
Total	347	27,5406	-	-	-

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

Crescimento em altura

No estudo do crescimento em altura média, a Tabela 7 mostra os coeficientes e estatísticas obtidas pelo ajuste da função de Backman.

Analisando a Tabela 7, pode-se verificar o bom ajuste da função de Backman. Os valores de R^2 variaram entre 0,79 (tratamento 1) até 0,96 (tratamento 5) e os valores de S_{yx} variaram entre 0,0574 m (tratamento 5) até 0,1200 m (tratamento 1). Os valores de F calculado também se mostraram altamente significativos, variando de 599 a 2467.

TABELA 7: Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento em altura média, em m, ao longo do tempo (anos).

TABLE 7: Coefficients and statistics of the Backman function, adjusted to describe the growth in average height, in m, through the time (years).

Número de Tratamentos	Coeficientes			Estatísticas		
	b_0	b_1	b_2	R^2	S_{yx}	F
1	1,271430	1,675348	-0,324584	0,79	0,1200	599
2	1,574797	1,222594	-0,163935	0,95	0,0591	2375
3	1,120475	1,750215	-0,308620	0,88	0,1075	658
4	1,460339	1,393347	-0,232396	0,93	0,0671	2250
5	1,279959	1,587499	-0,273018	0,96	0,0574	2467
6	1,118396	1,704659	-0,293445	0,95	0,0697	1441

Em que: R^2 = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro-padrão da estimativa; F = estatística F calculado; b_0 , b_1 , b_2 = coeficientes.

A Figura 2 mostra o comportamento do crescimento em altura ao longo dos anos, ajustado pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

Pode-se observar pela Figura 2 que o crescimento em altura média praticamente não diferiu entre os tratamentos estudados, à exceção dos tratamentos 1 e 4, que se mostraram ligeiramente inferiores aos demais tratamentos a partir dos cinco anos de idade. Segundo Balloni e Simões (1980), isso pode ser em consequência do nível de competição entre os indivíduos, mais acentuado a partir do quinto ano, em que o maior número de árvores dominadas ocasiona uma diminuição das alturas médias nos povoamentos mais densos. Porém, até o quinto ano, os tratamentos 1 e 4 se mostraram superiores ao tratamento 6.

Esse último resultado vem ao encontro do observado por Assis *et al.* (1999) que, estudando o comportamento de *Eucalyptus urophylla* em função de diferentes espaçamentos, encontraram maior altura das árvores aos 49 meses de idade para as árvores plantadas em espaçamentos mais reduzidos (3 x 2 m), concluindo que esse fato se deve à maior competição entre as árvores e a consequente busca por luz.

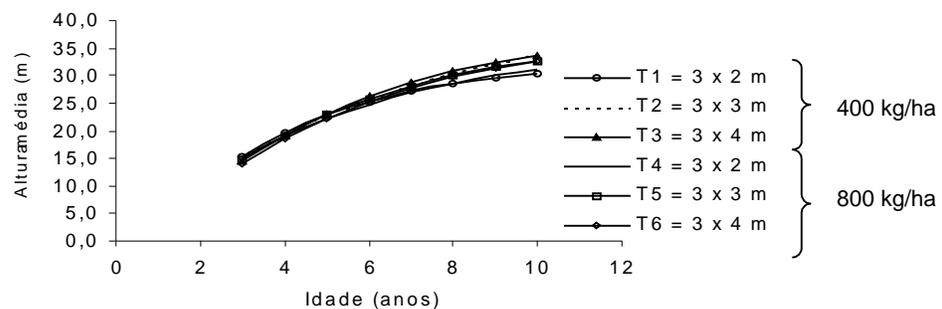


FIGURA 2: Valores estimados de altura média em função da idade, ajustados pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

FIGURE 2: Estimated values of average height as a function of age adjusted by the Backman function, for the treatments studied.

De acordo com a Anacova (Tabela 8), tal diferenciação é significativa, havendo rejeição da hipótese de igualdade de inclinação (idade x tratamento) e de níveis (tratamento) das curvas de crescimento em altura média, ao nível de 5% de probabilidade de erro, indicando a existência de padrões de crescimento diferenciados entre os tratamentos.

TABELA 8: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em altura média dos tratamentos estudados.

TABLE 8: Covariance analysis to check the paralelism and diference between levels of the growth in average height of the treatments studied.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F	
Tratamento	5	0,4878	0,0976	12,27	0,0001	
Coeficientes:	ln t	1	96,4736	96,4736	12131,89	0,0001
	ln ² t	1	1,9907	1,9907	250,34	0,0001
Idade x Tratamento	5	0,5594	0,1119	14,07	0,0001	
Erro	1428	11,3556	0,0079			
Total	1440	110,8672				

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

Considerando a tendência de tratamentos de mesmo espaçamento apresentarem padrões de crescimento semelhantes, nova Anacova foi aplicada aos dados agrupados dos tratamentos 1 e 4, 2 e 5 e 3 e 6 respectivamente. O resultado é apresentado nas Tabelas 9, 10 e 11.

De acordo com o resultado dessas análises, não há diferença significativa de nível e inclinação entre os tratamentos de mesmo espaçamento, evidenciando que o efeito do fator adubação não influenciou o crescimento em altura. Há apenas uma pequena superioridade do tratamento 4 em relação ao tratamento 1 a partir do oitavo ano, e também ligeira superioridade do tratamento 3 sobre o tratamento 6, ao longo de todo o período observado.

TABELA 9: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em altura média, para os tratamentos 1 e 4.

TABLE 9: Covariance analysis to check the paralelism and diference between levels of the growth in average height, for the treatments 1 and 4.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F	
Tratamento	1	0,0150	0,0150	1,61	0,2043	
Coeficientes:	ln t	1	36,5049	36,5049	3923,39	0,0001
	ln ² t	1	0,9718	0,9718	104,45	0,0001
Idade x Tratamento	1	0,0321	0,0321	3,45	0,0636	
Erro	640	5,9548	0,0093	-	-	
Total	644	43,4786	-	-	-	

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

TABELA 10: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em altura média, para os tratamentos 2 e 5.

TABLE 10: Covariance analysis to check the paralelism and diference between levels of the growth in average height, for the treatments 2 and 5.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F	
Tratamento	1	0,0099	0,0099	2,88	0,0901	
Coeficientes:	ln t	1	32,3753	32,3753	9407,43	0,0001
	ln ² t	1	0,4150	0,4150	120,59	0,0001
Idade x Tratamento	1	0,0021	0,0021	0,60	0,4384	
Erro	443	1,5246	0,0034	-	-	
Total	447	34,3269	-	-	-	

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

TABELA 11: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em altura média, para os tratamentos 3 e 6.

TABLE 11: Covariance analysis to check the paralelism and difference between levels of the growth in average height, for the treatments 3 and 6.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Tratamento	1	0,0195	0,0195	1,74	0,1882
Coefficientes: ln t	1	28,1026	28,1026	2509,04	0,0001
ln ² t	1	0,6480	0,6480	57,86	0,0001
Idade x Tratamento	1	0,0064	0,0064	0,57	0,4519
Erro	343	3,8417	0,0112	-	-
Total	347	32,6182	-	-	-

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

Crescimento em volume comercial sem casca por árvore

Para a variável volume comercial sem casca por árvore (vcsc), os coeficientes e estatísticas da função de Backman são apresentados na Tabela 12.

As estatísticas apresentadas na Tabela 9 mostram o bom ajuste da função de Backman, com valores de R² variando entre 0,58 (tratamento 1) e 0,93 (tratamento 2) e os valores de S_{yx} variando entre 0,1640 m³ (tratamento 2) e 0,4812 m³ (tratamento 3). Os valores de F calculado variaram entre 168 (tratamento 3) e 1407 (tratamento 2). A Figura 3 mostra graficamente o comportamento do crescimento em vcsc por árvore ao longo dos anos, ajustado pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

TABELA 12: Coeficientes e estatísticas da função de Backman, ajustada para descrever o crescimento em volume comercial sem casca por árvore, em m³, ao longo do tempo (anos).

TABLE 12: Coefficients and statistics of the Backman function, fitted to describe the growth in commercial volume without bark per tree, in m³, through the time (years).

Número de Tratamentos	Coeficientes			Estatísticas		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	S _{yx}	F
1	-4,776405	2,314732	-0,296423	0,58	0,4560	214
2	-4,525264	2,310669	-0,261508	0,93	0,1640	1407
3	-6,191384	4,355481	-0,816629	0,66	0,4812	168
4	-4,783547	2,394872	-0,331313	0,75	0,3028	489
5	-5,063575	3,001527	-0,470373	0,91	0,1755	1194
6	-5,345033	3,439028	-0,575184	0,87	0,2318	574

Em que: R² = coeficiente de determinação; S_{yx} = erro-padrão da estimativa; F = estatística F calculado; b₀, b₁, b₂ = coeficientes.

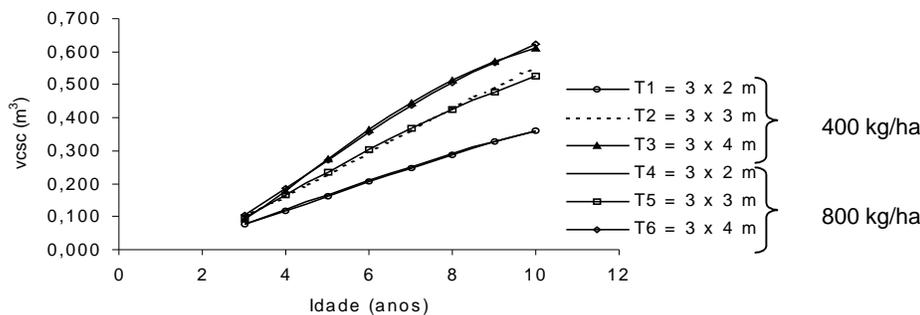


FIGURA 3: Valores estimados de volume comercial sem casca por árvore (vcsc) em função da idade, ajustados pela função de Backman, para os tratamentos estudados.

FIGURE 3: Estimated values of commercial volume without bark for tree as a function of age adjusted by the Backman function, for the treatments studied.

Assim como para a variável diâmetro, os tratamentos com maior espaço vital apresentaram os maiores valores médios de vcsc por árvore, conforme esperado.

O resultado da Anacova, para testar a existência de paralelismo e de níveis semelhantes entre as curvas, mostra que a hipótese de igualdade de inclinação (idade*tratamento) e de níveis (tratamento) das curvas de crescimento em vcsc por árvore é rejeitada ao nível de 5% de probabilidade de erro, indicando padrões de crescimento diferenciados entre os tratamentos estudados (Tabela 13).

TABELA 13: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc) dos tratamentos estudados.

TABLE 13: Covariance analysis to check the paralelism and difference between levels of the growth in commercial volume without bark per tree of the treatments studied.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Tratamento	5	64,8726	12,9745	106,23	0,0001
Coeficientes: ln t	1	454,2647	454,2647	3719,27	0,0001
ln ² t	1	5,2269	5,2269	42,79	0,0001
Idade x Tratamento	5	1,8237	0,3647	2,99	0,0109
Erro	1428	174,4132	0,1221	-	-
Total	1440	700,6012	-	-	-

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

Esse padrão diferenciado de crescimento pode ser verificado graficamente pela Figura 3 que mostra a tendência de tratamentos de mesmo espaçamento apresentarem mesmo padrão de crescimento em vcsc por árvore. Com isso, os dados dos tratamentos de mesmo espaçamento foram agrupados e submetidos a nova Anacova, sendo os resultados apresentados nas Tabelas 14, 15 e 16, respectivamente para os tratamentos 1 e 4, 2 e 5, e 3 e 6.

TABELA 14: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc) dos tratamentos 1 e 4.

TABLE 14: Covariance analysis to check the paralelism and difference between levels of the growth in commercial volume without bark per tree of the treatments 1 and 4.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Tratamento	1	0,5010	0,5010	3,40	0,0657
Coeficientes: ln t	1	177,2191	177,2191	1202,61	0,0001
ln ² t	1	1,2643	1,2643	8,58	0,0035
Idade x Tratamento	1	0,0426	0,0426	0,29	0,5911
Erro	640	94,3114	0,1474	-	-
Total	644	273,3384	-	-	-

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

TABELA 15: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc) dos tratamentos 2 e 5.

TABLE 15: Covariance analysis to check the paralelism and difference between levels of the growth in commercial volume without bark per tree of the treatments 2 and 5.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Tratamento	1	0,0043	0,0043	0,15	0,6992
Coeficientes: ln t	1	147,9705	147,9705	5119,20	0,0001
ln ² t	1	1,1532	1,1532	39,90	0,0001
Idade x Tratamento	1	0,0153	0,0153	0,53	0,4666
Erro	443	12,8049	0,0289	-	-
Total	447	161,9483	-	-	-

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

TABELA 16: Análise de covariância para testar o paralelismo e diferença entre níveis das curvas de crescimento em volume comercial sem casca por árvore (vcsc) dos tratamentos 3 e 6.

TABLE 16: Covariance analysis to check the paralelism and difference between levels of the growth in commercial volume without bark per tree of the treatments 3 and 6.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob.>F
Tratamento	1	0,4359	0,4359	2,25	0,1346
Coeficientes: ln t	1	130,8025	130,8025	675,11	0,0001
	1	3,6749	3,6749	18,97	0,0001
Idade x Tratamento	1	0,0132	0,0132	0,07	0,7942
Erro	343	66,4564	0,1938	-	-
Total	347	201,3829	-	-	-

Em que: G.L. = graus de liberdade; S.Q. = soma de quadrados; Q.M. = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; t = idade.

A Anacova para cada grupo de tratamentos mostra que aqueles de mesmo espaçamento não diferem estatisticamente entre si, tanto em nível quanto em inclinação. Esse resultado novamente ressalta a não-influência do fator adubação no crescimento em vcsc durante o período analisado.

Crescimento em volume comercial sem casca por hectare

O crescimento médio em volume comercial sem casca por hectare pode ser observado na Figura 54. Mediante essas curvas de crescimento, é possível verificar que o fator adubação não apresentou efeito significativo sobre a produção em volume comercial sem casca por hectare, pois há sobreposição das curvas que constituem o mesmo espaçamento, apesar da pequena superioridade dos tratamentos 1 e 2 sobre os tratamentos 4 e 5.

A Figura 4 também permite observar que há menor produção em volume comercial sem casca por hectare para os tratamentos que constituem o espaçamento 3 x 4 m (3 e 6), ao longo do tempo. A diferença em relação aos menores espaçamentos torna-se mais acentuada a partir do sexto ano. Entre os tratamentos 1, 4, 2 e 5, a produção em volume comercial sem casca por hectare praticamente não diferiu ao longo dos anos. Pode-se observar, entretanto, que os tratamentos 2 e 5, apesar de apresentarem um volume comercial sem casca por hectare inicial inferior, atingem maiores valores a partir do sétimo ano.

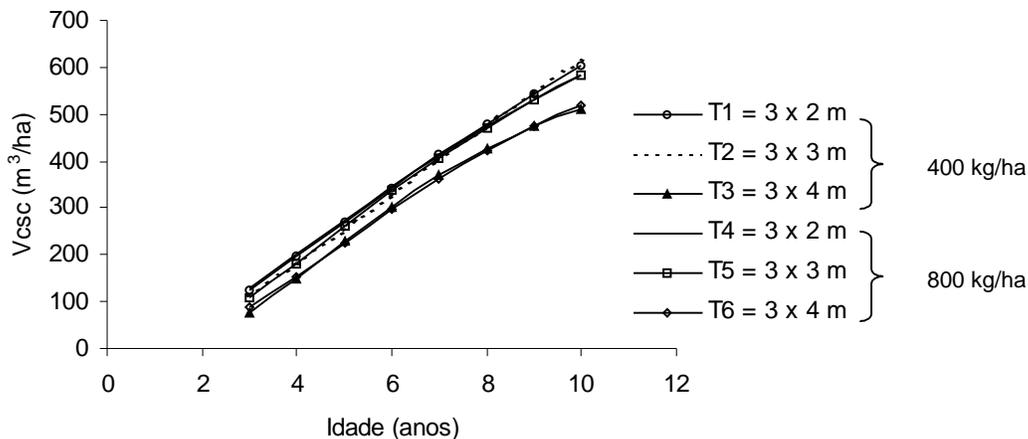


FIGURA 4: Valores médios de volume comercial sem casca por hectare (Vcsc) em função da idade, para os tratamentos estudados.

FIGURE 4: Average values of the commercial volume without bark per hectare as a function of the age for the treatments studied.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que:

A função de Backman descreveu com boa precisão o crescimento em DAP, altura e volume comercial sem casca por árvore do clone ao longo do tempo, para todos os tratamentos.

A análise de covariância detectou, para todas as variáveis, diferenças de nível e inclinação das curvas de crescimento entre os tratamentos estudados. A nova Anacova, realizada após o agrupamento dos dados de tratamentos de mesmo espaçamento, mostrou que estes apresentaram níveis e padrões de crescimento estatisticamente idênticos, em todas as variáveis estudadas (DAP, altura e volume comercial sem casca), com exceção dos tratamentos 3 e 6 da variável DAP, que apresentaram diferença de nível significativa.

Segundo a Anacova aplicada aos tratamentos de mesmo espaçamento, para cada variável, o fator adubação não mostrou influência estatística significativa sobre o crescimento das variáveis estudadas, com exceção dos tratamentos relacionados no item b.

A produção em volume comercial sem casca por hectare foi menor para os tratamentos que constituíam o maior espaço vital (12 m^2), sendo que praticamente não diferiu entre os dois menores (6 e 9 m^2).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, R.L.; FERREIRA, M.M.; MORAIS, E.J. *et al.* Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 23, n. 2, p. 151-156, 1999.
- BALLONI, E.A., SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, p. 1-26, 1980. (Série Técnica, 3).
- BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- BRASIL, M.A.M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, v. 2, n. 3, p. 129-49, 1971.
- CAMPOS, J.C.C.; TREVISOL JR.; T.L., TORQUATO, M.C. *et al.* Aplicação de um modelo compatível de crescimento e produção de densidade variável em plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 121-134, 1986.
- COUTO, L.; BRANDI, R.M.; CONDÉ, A.R. *et al.* Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla*, de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, MG. **Revista Árvore**, v. 1, n. 2, p. 57-71, 1977.
- FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.
- HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. New York: Ronald Press, 1972. 410 p.
- LEMOES, R.C.; AZOLIM, M.A.D.; BRANDÃO, P.U. *et al.* **Levantamento e reconhecimento dos solos de Estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Ministério da Agricultura, Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuárias - Divisão de Pesquisas Pedológicas, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).
- MARCOLIN, M.; COUTO, H.T.Z. Modelos de produção e crescimento de *Pinus taeda* desbastado na região de Telêmaco Borba-PR. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba, PR. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993.
- MELLO, H.A.; MASCARENHAS SOBRINHO, J.; SIMÕES, J.W. *et al.* Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Em solos de cerrado do Estado de S. Paulo. **IPEF**, n. 1, p. 7-26, 1970.
- _____. Influência do espaçamento e da idade de corte na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**, v. 13, p. 143-62, 1976.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41p.
- SAS. Statistical Analysis System. **Programa de computador**, ambiente VM. Cary, 1993. Versão 6.08.

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF-FATEC, 1993.348p.

____. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1997. 217p.

SILVA, J.F. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e sua interação com espaçamentos**. 1990. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.