

PRODUÇÃO DE MADEIRA LIVRE DE NÓS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTIO

Carlos R. Sanquetta¹, Julio E. Arce², Anabel A. de Mello³, Eduardo Q. da Silva⁴,
Nilton Barth Filho⁵, Selma L.S. Matoski⁶

(Recebido: 16 de maio de 2000; aceito: 20 de novembro de 2003)

RESUMO: Este artigo objetiva analisar a influência do espaçamento inicial de plantio sobre as variáveis *dap*, altura total, altura de inserção do primeiro galho, volume total, volume livre de nós e volume até 25, 18 e 8 cm de diâmetro, em povoamentos de *Pinus taeda*. Ênfase é dada ao efeito da densidade de plantio na formação de galhos e na produção de madeira livre de nós. O experimento foi instalado no município de Jaguariaíva, PR. Os dados da última avaliação, realizada em 1999 (12 anos de idade), foram utilizados nesta pesquisa. Os resultados indicaram que espaçamentos maiores conferem um aumento acentuado no *dap*, e todas as variáveis que possuem relação direta com o mesmo (volume total, volume até 25 cm, volume até 18 cm e volume até 8 cm) apresentam diferenças significativas entre os tratamentos. A altura total não foi afetada pela densidade. Evidenciou-se também que a densidade afeta a produção de galhos; quanto menor a densidade, menor é a altura da inserção dos primeiros galhos e menor o volume livre de nós. Concluiu-se que se o objetivo final é a produção de madeira para laminação e/ou serraria, é aconselhável optar por plantios com maiores espaçamentos, desde que seja realizada poda artificial. Quando a realização de poda artificial for impraticável, a melhor alternativa é adotar espaçamentos intermediários, como o 2,5 x 2,8 m, que produz praticamente a mesma quantidade de madeira limpa.

Palavras-chave: espaçamento, galhos, experimento, planejamento florestal, manejo florestal, madeira, volumetria

THE EFFECT OF INITIAL STAND DENSITY ON CLEAR WOOD YIELD IN Loblolly pine PLANTATIONS

ABSTRACT: This paper analyzed the influence of initial stand density on mean tree dbh, mean top height, mean height at the lowest branch, mean total tree volume, clear mean volume, mean volume at 25 cm, 18 and 8 cm diameter, in loblolly pine plantations in southern Brazil. Special attention is given to clear wood yield. The experiment was established in the Jaguariaíva county, Paraná State, on the Pisa Florestal S.A. lands. The experiment was evaluated at several occasions since its establishment, but only data collected in the last measurement (1999, at age 12) were used. The results indicated that large initial spacing determine more remarkable increase in dbh and other related variables (mean total tree volume, mean volume at 25 cm, 18 and 8 cm diameter). No significant effect of stand density on mean top height was noticed. It was also noticed that stand density affects knot

¹ Eng^o Florestal, M.Sc., Ph.D., Professor do Curso de Pós-Graduação em Eng. Florestal - SCA - UFPR - Av. Pref. Lothário Meissner, 3400 - Curitiba-PR, CEP 80.210-170. sanqueta@floresta.ufpr.br

² Eng^o Florestal, M.Sc., Dr., Professor do Curso de Pós-Graduação em Eng. Florestal - SCA - UFPR

³ Eng^a Florestal, M.Sc., Estudante de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Eng. Florestal - SCA - UFPR

⁴ Matemático, M.Sc., Estudante de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Eng. Florestal - SCA - UFPR

⁵ Eng^o Florestal, Estudante de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Eng. Florestal - SCA - UFPR

⁶ Arquiteta, Estudante de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Eng. Florestal - SCA - UFPR

formation; the higher the density the lower the height at the lowest branch and the lower the clear volume. It was concluded that if the key objective is wood yield for veneer (and sawnwood in some cases), it is recommendable to use larger stand spacings in combination with artificial pruning. When pruning is not feasible, the intermediate spacings (as 2.5 x 2.8 m) should be used, which may result in same clear wood yield as compared to larger spacings (as 2.5 x 3.6 m or larger).

Key-words: spacing, branches, experiment, forest planning, forest management, wood, volume

1 INTRODUÇÃO

No planejamento da produção florestal, diversos fatores são importantes. A seleção da espécie, procedência e progênie, qualidade do sítio, densidade inicial de plantio, época, frequência e intensidade de desbaste e poda, idade de rotação, entre outros, estão entre os mais merecedores de atenção pelo empreendedor florestal. Um dos principais fatores é a densidade inicial de plantio, diretamente relacionada com o espaçamento entre as árvores (Balloni, 1980; Balloni & Simões, 1983).

Segundo Botelho (1998), o espaçamento tem como objetivo proporcionar para cada indivíduo o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo, com melhor qualidade e menor custo. O assunto sempre desperta muita atenção e gera discussão, porém, considerável avanço científico foi proporcionado pela pesquisa de diversos autores, no Brasil e no exterior.

Até as últimas duas décadas, a madeira de plantações de *Pinus* tinha como grande consumidor a indústria de papel e celulose, que tem maior preocupação com a quantidade do que com a qualidade das toras. Por outro lado, a escassez de madeira nativa em usos mais nobres tem promovido a utilização de *Pinus* em grande escala.

A silvicultura do *Pinus*, antes voltada à produção de papel e celulose, empregou, tradicionalmente, densidades de plantio com lotação de 2.000 a 2.500 árvores por hectare.

Mais recentemente, a indústria madeireira passou a optar por espaçamentos mais amplos, que permitissem obter maiores volumes de madeira para serraria e laminação, em menor prazo e a menores custos (pela redução do número de desbastes). Plantios com cerca de 1.000 a 1500 árvores por hectare são muito observados, hoje, no sul do Brasil, seguindo a tendência de outros países que manejam *Pinus*, como África do Sul, Austrália, Nova Zelândia e Chile (Lewis & Ferguson, 1993).

Entretanto, sabe-se, empiricamente, que quanto maior o espaço entre as árvores, maior também é a formação de galhos, o que pode trazer eventuais prejuízos à produção de madeira para laminação e serraria, que necessita avidamente de madeira livre de nós (Sutton, 1970; Forrest, 1971).

A formação de nós pode ter várias implicações indesejáveis na produção de lâminas e madeira serrada. O fator responsável por este fenômeno é, em parte, a morte natural dos galhos, a qual se tenta evitar por meio da realização da poda artificial. Acredita-se que o espaçamento inicial de plantio interfere na altura de inserção dos primeiros galhos, o que pode determinar menor volume de madeira livre de nós e, conseqüentemente, influenciar sobremaneira no seu uso final (Lewis e Ferguson, 1993).

Este estudo objetiva analisar a influência do espaçamento inicial de plantio sobre as variáveis diâmetro à altura do peito, altura total, altura de inserção do primeiro galho,

volume total, volume livre de nós e volume até 25, 18 e 8 centímetros de diâmetro, em povoamentos de *Pinus taeda*. Ênfase especial é dada ao efeito da densidade de plantio na formação de galhos e na produção de madeira livre de nós.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do experimento

Os dados utilizados para este trabalho são advindos de um experimento instalado no município de Jaguariaíva, PR, na fazenda Lageado, de propriedade da empresa Pisa Florestal S.A. A implantação deste experimento ocorreu entre outubro e novembro de 1987, tendo sido reavaliado em diversas ocasiões. A última avaliação foi realizada no ano de 1999, quando a área experimental estava com 12 anos de idade.

O experimento inteiramente casualizado ocupa uma área de 2,97 ha, contando com 5 tratamentos e 6 repetições instalados de maneira contínua. A Tabela 1 caracteriza os tratamentos.

O local possuía reflorestamento comercial de *Pinus taeda* com 16 anos de idade. Em 1986, executou-se o corte raso deste projeto, seguido de uma queima controlada para a limpeza do material resultante da colheita. No ato da implantação, foram feitas covas manuais com 20

cm de largura por 15 a 20 cm de profundidade, sem qualquer tipo de adubação.

Inicialmente, foram somente mensuradas as alturas das árvores, até as mesmas atingirem alturas superiores a 1,30m. Nos levantamentos posteriores, foram obtidos os valores de *dap* e a altura total de todos os indivíduos. No ano de 1999, correspondente à última medição, tomou-se também a altura da inserção do primeiro galho, medida com uma régua graduada, cuja avaliação motivou a condução do presente trabalho. Para efeito deste trabalho, considerou-se madeira livre de nós aquela compreendida entre a base da árvore e a altura do primeiro galho vivo, uma vez que as árvores apresentam desrama natural.

Para este trabalho, foram utilizados os valores médios das variáveis dendrométricas para cada parcela (5 tratamentos x 6 repetições = 30 parcelas) referentes ao ano de 1999. Foram consideradas nesta análise as variáveis diâmetro à altura do peito (*dap*), altura total (*ht*), altura da inserção do primeiro galho (*hg*), volume total (*vt*), volume livre de nós (*vln*), volume da tora até 25 cm de diâmetro (*v25*), volume da tora até 18 cm de diâmetro (*v18*), volume da tora até 8 cm de diâmetro (*v8*). Especial atenção foi dada à produção de madeira livre de nós, uma vez que avaliações detalhadas sobre as demais variáveis do experimento já foram reportadas por Gomes et al. (1997) e Sanquetta et al. (2000).

Tabela 1. Tratamentos utilizados no experimento

Table 1. Experiment description

Tratamento	Espaçamento (m)	Árvores/ha	Área da parcela (m ²)
1	2,5 x 1,2	3.333	630
2	2,5 x 2,0	2.000	630
3	2,5 x 2,8	1.428	810
4	2,5 x 3,6	1.111	990
5	2,5 x 4,4	909	1.260

2.2 Equações utilizadas para o cálculo dos volumes

As equações apresentadas a seguir possibilitaram obter o volume total e o volume tomado a diferentes alturas das árvores analisadas neste estudo. Essas equações foram analisadas e utilizadas por Arce (2000).

$$vt_{sc} = e^a \cdot dap^b \cdot \left(\frac{ht^2}{ht - 1,3} \right)^c, \text{ em que:}$$

vt_{sc} : volume total sem casca (m^3) de árvores com dap e ht conhecidos;

dap : diâmetro à altura do peito (cm);

ht : altura total (m);

e : base dos sistema de logaritmos naturais ($e=2,718281828$);

a, b e c : coeficientes de modelos ajustados a cada situação.

Substituindo-se os coeficientes a, b e c tem-se a expressão:

$$vt_{sc} = e^{-1,1107} \cdot dap^{1,9616} \cdot \left(\frac{ht^2}{ht - 1,3} \right)^{1,2501}$$

que fornece o vt_{sc} de acordo com dap e ht utilizados.

Para a estimativa de volumes parcial no fuste foi utilizada a seguinte equação de forma:

$$d_i^2 = \frac{vt_{sc}}{k \cdot ht} (ax + bx^2 + cx^3 + dx^4 + ex^5 + fx^{28} + g^{34})$$

, em que:

vt_{sc} : volume total sem casca de árvores com dap e ht conhecidos;

d_i : diâmetro do fuste sem casca a uma determinada altura;

$$x: \text{ altura relativa, } x = \left[\frac{(ht - h_i)}{ht} \right];$$

k : constante $\left(\frac{p}{40.000} \right)$;

a, b, c, d, e, f e g : coeficientes dos modelos ajustados.

2.3 Análise estatística

Os dados em questão foram analisados pelo teste de Bartlett para verificação de homogeneidade da variância. Logo em seguida, os dados foram avaliados em computador por meio de análises de variância (ANOVA) e teste de Tukey, para 5% e 1% de significância, aplicados às variáveis de interesse nos diferentes espaçamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do Teste de Bartlett, verificou-se existir homogeneidade das variâncias dos dados utilizados no experimento, não havendo necessidade de transformação dos mesmos. As análises foram feitas para cada variável em separado e estão reportadas na seqüência.

3.1 Diâmetro à altura do peito

Nas análises estatísticas apresentadas na Tabela 2, referentes à variável diâmetro à altura do peito, observa-se que o espaçamento influencia significativamente esta variável aos 12 anos. Isto pode ser observado na coluna do teste F.

Conforme mostra a Tabela 3, o teste de Tukey revelou que todos os tratamentos são estatisticamente diferentes entre si e que, quanto mais amplo o espaçamento, maior o diâmetro médio das árvores. Isto é natural, uma vez que maior espaço vital promove maior crescimento das árvores. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Gomes et al. (1997) e Sanquetta et al. (1998), que analisaram os dados deste experimento até os 8,75 anos e com a literatura em geral a respeito do efeito da densidade de plantio em plantações florestais.

Tabela 2. Resultados da ANOVA para a variável *dap* na idade 12 anos**Table 2.** ANOVA for DBH at age 12 years

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
<i>dap</i> / <i>dbh</i>	4	283,58	70,896	81,73**	6.10 ⁻¹⁴
Erro	25	21,685	0,8674		
Total	29	305,27			

** significativo a 99% de probabilidade

Tabela 3. Teste de Tukey para comparação das médias dos diâmetros à altura do peito, a 5% de significância, na idade 12 anos**Table 3.** Test of Tukey for mean DBH at age 12 years

Tratamentos	Densidade (árv./ha)	<i>dap</i> médio (cm)	Comparações
1 (2,5 x 1,2 m)	3333	15,1101	a
2 (2,5 x 2,0 m)	2000	18,8275	b
3 (2,5 x 2,8 m)	1428	20,7039	c
4 (2,5 x 3,6 m)	1111	22,3252	d
5 (2,5 x 4,4 m)	909	24,0345	e

3.2 Altura total

A Tabela 4 mostra que não houve significância, pelo teste F, para a variável altura total média. Disto depende-se que o povoamento não é afetado pela densidade de plantio, em se tratando da variável altura. De acordo com o teste de Tukey, cujos resultados

são apresentados na Tabela 5, pode-se verificar que as médias das alturas totais de todos os tratamentos não diferem estatisticamente entre si. Estes resultados estão também em concordância com a literatura (Sanquetta et al., 1998).

Tabela 4. Resultado da ANOVA para a variável altura total na idade 12 anos**Table 4.** ANOVA for mean total tree height at age 12 years

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
<i>ht</i>	4	1,9097	0,4774	1,2089 ^{ns}	0,3319
Erro	25	9,8733	0,3949		
Total	29	11,783			

ns: não significativo, a 95% de probabilidade.

Tabela 5. Teste de Tukey para comparação das médias das alturas totais, a 5% de significância, na idade de 12 anos

Table 5. Test of Tukey for mean top tree height at age 12 years

Tratamentos	Densidade (árvores/ha)	ht médio (m)	Comparações
1 (2,5 x 1,2 m)	3333	13,7133	a
2 (2,5 x 2,0 m)	2000	14,3483	a
3 (2,5 x 2,8 m)	1428	14,0083	a
4 (2,5 x 3,6 m)	1111	14,2883	a
5 (2,5 x 4,4 m)	909	14,3716	a

3.3 Altura de inserção do primeiro galho

As análises estatísticas apresentadas nas Tabelas 6 e 7, referentes à variável altura de inserção do primeiro galho, mostraram que houve diferença significativa entre os tratamentos para a altura do primeiro galho com o aumento do espaçamento entre as árvores. Este resultado decorre do fato de que a existência de espaçamento mais amplo permite maior liberação para o crescimento da copa e das árvores e, conseqüentemente, maior alocação de biomassa para os galhos.

Por meio dos resultados do teste de Tukey apresentados na Tabela 7, observa-se que os tratamentos 1, 2 e 3 não apresentaram médias estatisticamente diferentes, ocorrendo o mesmo com os tratamentos 3, 4 e 5. Sendo assim, pode-se argumentar que, para se obter um povoamento com altura de inserção do primeiro galho maior, devem ser adotados espaçamentos menos densos. Contudo, tais espaçamentos poderiam indiferentemente ser 2,5 x 1,2 m, 2,5 x 2,0 m ou 2,5 x 2,8 m.

Convém, entretanto, mencionar que como interessa simultaneamente obter árvores de maiores diâmetros com menores alturas de galhos, e como estes dois fatores são opostos, interessaria uma combinação de equilíbrio. Isso poderia levar à afirmação de que o espaçamento 2,5 x 2,8 m seria o que melhor preencheria este requisito.

Convém comentar que, apesar da adoção de poda vir a anular as diferenças entre as alturas de inserção de galhos dos tratamentos, os custos desta prática silvicultural poderiam ser drasticamente reduzidos com melhor densidade natural. Neste caso, haveria relevância em manter uma densidade mínima que não permitisse a expansão e a longevidade dos galhos.

3.4 Volume total da árvore média

As análises estatísticas apresentadas nas Tabelas 8 e 9, referentes à variável volume total médio da árvore representativa de cada tratamento, mostraram que o espaçamento influenciou significativamente a variável em questão. Pode-se observar que quanto menor o espaçamento, menor a produção em volume, aos 12 anos de idade. Este resultado é normal, uma vez que, com o maior crescimento em *dap*, em virtude do maior espaço vital disponível e a não diferença na altura total, as árvores também alcançam maiores volumes.

Por meio dos resultados encontrados para o teste de Tukey (Tabela 9), pode-se dizer que o tratamento 1, de maior densidade de plantio, apresentou-se estatisticamente diferente dos outros. Os demais tratamentos, por outro lado, não apresentaram diferenças estatísticas entre si, mostrando dualidade de letras pelo Teste de Tukey nos tratamentos intermediários.

Tabela 6. Resultado da ANOVA para a variável altura do primeiro galho aos 12 anos**Table 6.** ANOVA for mean height at the lowest branch (hg) at age 12 years

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
hg	4	21,835	5,4588	9,18**	0,0001
Erro	25	14,861	0,5944		
Total	29	36,696			

** significativo a 99% de probabilidade.

Tabela 7. Teste de Tukey para comparação das médias das alturas de inserção do primeiro galho, a 5% de significância, na idade 12 anos**Table 7.** Test of Tukey for height at the lowest branch (hg) at age 12 years

Tratamentos	Densidade (árv./ha)	hg médio (m)	Comparações
1 (2,5 x 1,2 m)	3333	7,5650	a
2 (2,5 x 2,0 m)	2000	7,3433	a
3 (2,5 x 2,8 m)	1428	6,4450	ab
4 (2,5 x 3,6 m)	1111	5,8533	b
5 (2,5 x 4,4 m)	909	5,3283	b

Tabela 8. Resultado da ANOVA para variável volume total na idade 12 anos**Table 8.** ANOVA for mean whole tree volume (VT) at age 12 years

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P
Vt	4	0,1234	0,0309	38,73**	2.10 ⁻¹⁰
Erro	25	0,0199	0,0008		
Total	29	0,1433			

** significativo a 99% de probabilidade.

Tabela 9. Teste de Tukey para comparação das médias dos volumes totais, a 5% de significância, na idade 12 anos**Table 9.** Test of Tukey for mean whole tree volume (vt) at age 12 years

Tratamentos	Densidade (árv./ha)	vt médio (m ³)	Comparações
1 (2,5 x 1,2 m)	3333	0,1136	a
2 (2,5 x 2,0 m)	2000	0,1851	b
3 (2,5 x 2,8 m)	1428	0,2188	bc
4 (2,5 x 3,6 m)	1111	0,2599	cd
5 (2,5 x 4,4 m)	909	0,3009	d

3.5 Volume livre de nós da árvore média

A análise estatística apresentada na Tabela 10, referente ao volume livre de nós da árvore média de cada tratamento, mostrou que o espaçamento influenciou significativamente a variável em apreço. Observa-se que o tratamento 1 comportou-se diferentemente dos outros, apresentando um menor volume livre de nós. Os tratamentos 2, 3, 4 e 5 apresentaram resultados médios não diferentes estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey, apresentado na Tabela 11. Isto sugere que, apesar de maior crescimento em diâmetro e em volume total, os espaçamentos mais amplos não necessariamente produzem maior volume livre de nós, desejável para a indústria

de processamento mecânico de madeira. Isto é comprovado pela igualdade estatística dos tratamentos 2, 3, 4 e 5, para a variável madeira livre de nós, mostrada na Tabela 11.

Esta constatação traz à tona uma discussão muito freqüente nos fóruns de manejo de plantações florestais. Quase sempre os especialistas advogam a adoção de espaçamentos mais amplos para a produção de madeira para a indústria de serrados e laminados. De certa forma, os resultados deste trabalho indicam alguma contradição. Contudo, outros aspectos, como o uso da poda, de diferentes regimes de desbaste, idade de rotação, entre outros, precisam ser considerados neste contexto.

Tabela 10. Resultado da ANOVA para variável volume livre de nós na idade 12 anos

Table 10. ANOVA for mean clear volume (vln) at age 12 years

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
vln	4	0,0336	0,0084	11,91**	10 ⁻⁵
Erro	25	0,0176	0,0007		
Total	29	0,0513			

Tabela 11. Teste de Tukey para comparação das médias dos volumes livre de nós, a 5% de significância, na idade 12 anos

Table 11. Test of Tukey for mean clear volume (vln) at age 12 years

Tratamentos	Densidade (ár.v./ha)	vln médio (m ³)	Comparações
1 (2,5 x 1,2 m)	3333	0,0923	a
2 (2,5 x 2,0 m)	2000	0,1450	b
3 (2,5 x 2,8 m)	1428	0,1595	b
4 (2,5 x 3,6 m)	1111	0,1767	b
5 (2,5 x 4,4 m)	909	0,1884	b

3.6 Volume até 25 cm de diâmetro (volume de laminação)

Nas análises estatísticas apresentadas na Tabela 12, referentes ao volume médio do

fuste até 25 cm de diâmetro, observou-se que o espaçamento influenciou significativamente esta variável.

Pela Tabela 13, pode-se observar que, com espaçamentos menores, os diâmetros para

laminação não são atingidos nos dois primeiros tratamentos e que o volume no tratamento 3 é bastante baixo. O tratamento de menor densidade de plantio, por sua vez, apresentou-se estatisticamente diferente dos outros, com uma média muito superior à dos demais tratamentos.

O volume para laminação está altamente relacionado com o *dap*. Como nos tratamentos

mais amplos (4 e 5), o *dap* médio foi consideravelmente mais alto do que nos outros tratamentos, o volume para laminação também seguiu o mesmo curso. Entretanto, este volume de laminação desconsidera a questão dos nós, o que faz crer numa maior produção de madeira a ser utilizada na indústria, o que, de fato, não corresponde à realidade porque a indústria de laminação necessita de toras livres de nós para melhor desempenho.

Tabela 12. Resultado da ANOVA para variável volume até 25 cm de diâmetro na idade 12 anos

Table 12. ANOVA for tree volume up to 25 cm diameter (v25) at age 12 years

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
v25	4	0,0065	0,00160	23,50**	4.10 ⁻⁸
Erro	25	0,0017	0,00007		
Total	29	0,0082			

** significativo a 99% de probabilidade.

Tabela 13. Teste de Tukey para comparação das médias dos volumes até 25 cm de diâmetro, a 5% de significância, na idade 12 anos

Table 13. Test of Tukey for tree volume up to 25 cm diameter (v25) at age 12 years

Tratamentos	Densidade (ár.v./ha)	v25 médio (cm)	Comparações
1 (2,5 x 1,2 m)	3333	0,0000	a
2 (2,5 x 2,0 m)	2000	0,0000	a
3 (2,5 x 2,8 m)	1428	0,0034	ab
4 (2,5 x 3,6 m)	1111	0,0173	b
5 (2,5 x 4,4 m)	909	0,0383	c

3.7 Volume até 18 cm de diâmetro (volume de serraria)

As análises estatísticas apresentadas nas Tabelas 14 e 15, referentes ao volume até 18 cm de diâmetro, mostraram que o espaçamento influenciou esta variável. De acordo com os resultados do teste de Tukey mostrados na Tabela 15, nota-se que os tratamentos 1 e 2 e 2 e 3 comportaram-se estatisticamente iguais

entre si, enquanto que os tratamentos 4 e 5 foram diferentes entre si e dos outros tratamentos. Por meio dos resultados médios de volume até 18 cm (volume de serraria), verificou-se que quanto maior a densidade de plantio, menor o volume médio encontrado, o que era de se esperar, uma vez que a variável volume também está diretamente ligada com o diâmetro.

Tabela 14. Resultado da ANOVA para variável volume até 18 cm de diâmetro na idade 12 anos**Table 14.** ANOVA for tree volume up to 18 cm diameter (v18) at age 12 years

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
V18	4	0,1536	0,0384	36,96**	4.10 ⁻¹⁰
Erro	25	0,0260	0,0010		
Total	29	0,1796			

** significativo a 99% de probabilidade.

Tabela 15. Teste de Tukey para comparação das médias dos volumes até 18 cm de diâmetro, a 5% de significância, na idade 12 anos**Table 15.** Test of Tukey for tree volume up to 18 cm diameter (v18) at age 12 years

Tratamentos	Densidade (árv./ha)	v18 médio (m ³)	Comparações
1 (2,5 x 1,2 m)	3333	0,0013	a
2 (2,5 x 2,0 m)	2000	0,0423	ab
3 (2,5 x 2,8 m)	1428	0,0871	b
4 (2,5 x 3,6 m)	1111	0,1452	c
5 (2,5 x 4,4 m)	909	0,2021	d

3.8 Volume até 8 cm de diâmetro (volume de celulose)

Por meio das análises estatísticas apresentadas nas Tabelas 16 e 17, referentes ao volume até 8 cm de diâmetro, observou-se que o espaçamento influenciou de forma significativa esta variável. A partir dos resultados apresentados na Tabela 17, evidenciou-se que o espaçamento 1 (2,5 x 1,2 m), comporta-se diferentemente dos outros, apresentando um menor volume médio para celulose. Os tratamentos 2, 3, 4 e 5 não apresentaram comportamento estatisticamente claro pelo Teste de Tukey, mostrando dualidade de letras nos tratamentos 3 e 4.

Alguns comentários importantes precisam ser feitos sobre esta variável. A primeira é que, como para o processamento da madeira para celulose não interessa a presença

de nós, não há que se fazer alusão a este problema. Em segundo lugar, deve-se mencionar que o menor volume médio até 8 cm nos tratamentos com espaçamento mais densos é plenamente compensado pela alta densidade, o que, na prática, significa que os resultados se inverteriam. Ou seja, na verdade, nos espaçamentos mais densos, mesmo tendo menor volume médio no cômputo final da biomassa lenhosa, haveria ganho em se tratando de madeira para celulose. Isto pode ser feito como exercício para efeito simplificador, multiplicando-se a densidade de plantio pelo volume médio para celulose. Obviamente, algumas distorções ocorrem pela desconsideração de fatores como mortalidade, distribuição diamétrica, entre outros, mas a tendência de maior volume dos povoamentos mais densos poderia ser verificada.

Tabela 16. Resultado da ANOVA para variável volume até 8 cm de diâmetro na idade 12 anos**Table 16.** ANOVA for tree volume up to 8 cm diameter (v8) at age 12 years

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	p
v8	4	0,1107	0,0277	38,52**	2.10 ⁻¹⁰
Erro	25	0,018	0,0007		
Total	29	0,1286			

** significativo a 99% de probabilidade.

Tabela 17. Teste de Tukey para comparação das médias dos volumes até 8 cm de diâmetro, a 5% de significância, na idade 12 anos**Table 17.** Test of Tukey for tree volume up to 8 cm diameter (v8) at age 12 years

Tratamentos	Densidade (árv./ha)	v8 médio (m ³)	Comparações
1 (2,5 x 1,2 m)	3333	0,0954	a
2 (2,5 x 2,0 m)	2000	0,1632	b
3 (2,5 x 2,8 m)	1428	0,1951	bc
4 (2,5 x 3,6 m)	1111	0,2340	cd
5 (2,5 x 4,4 m)	909	0,2726	d

4 CONCLUSÕES

As conclusões retiradas desta pesquisa foram as seguintes:

Espaçamentos maiores conferem um aumento acentuado no *dap*, sendo que todas as variáveis que possuem uma relação direta com o mesmo apresentam diferenças significativas entre os tratamentos (volume total, volume até 25 cm, volume até 18 cm e volume até 8 cm) na idade de 12 anos;

A variável altura total não foi afetada pela densidade até a idade de 12 anos, concordando com outros estudos no Brasil (Gomes et al., 1997; Sanquetta et al. 2000);

A densidade do povoamento afeta a produção de galhos. Quanto menor a densidade, menor é a altura da inserção dos primeiros galhos e menor a porção volumétrica

livre de nós. Esses resultados são corroborados pela literatura em situações semelhantes em outros países (Lewis e Ferguson, 1993);

Em princípio, sendo o objetivo final da empresa a produção de madeira para laminação (e serraria em alguns casos), é aconselhável optar por plantios com maiores espaçamentos, desde que seja realizada poda artificial (Lewis e Ferguson, 1993);

Se o objetivo é obter madeira livre de nós, como é o caso de madeira para laminação (e serraria em alguns casos), e que a realização de poda artificial implica em custo elevado, a melhor alternativa seria a adoção de espaçamentos intermediários, como o de 2,5 x 2,8 m, que produz praticamente a mesma quantidade de madeira limpa. Espaçamentos desta magnitude são adotados em países que manejam *Pinus* (Lewis e Ferguson, 1993).

5 AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à Pisa Florestal por ceder os dados para a realização desta pesquisa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCE, J. E. Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte. 2000. 125 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, Piracicaba, v.1, n. 3, p. 1-16, 1980.
- BALLONI, E. A. A influência do espaçamento de plantio na produtividade florestal. **In: Fast growing trees**. IUFRO. Águas de São Pedro, p. 588-593, 1983.
- BOTELHO, S. A. Espaçamento. **In: SCOLFORO, J. R. S. Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. p. 381-406.
- FORREST, W.G. **A review of tree and stand growth in radiata pine plantations**. Australia: Forestry Commission of New South Wales, 1971.
- GOMES, F. S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C.R. Avaliação da produção em volume total e sortimentos de povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 101-126, 1997.
- LEWIS, N. B.; FERGUSON, I. S. **Management of radiata pine**. Melbourne, Sidney: Inkata Press, 1993. 404 p.
- SANQUETTA, C. R.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; BARTOSZECK, A. C. P. S.; DURIGAN, M. E.; KLECHOWICZ, N.; NISGOSKI, S. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos. I. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Sm. em Itararé-SP. **Revista Acadêmica**, Curitiba-PR, v. 9, n. 2, p. 41-52, 1998.
- SANQUETTA, C. R.; REZENDE, A.V.; GAIAD, D.; SCHAAF, L. B.; ZAMPIER, A. C. Produção de madeira para laminação em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades e regimes de desbaste: uma abordagem experimental. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v. 28, n. 1/2, p. 80-96, 2000.
- SUTTON, W. R. J. Effect on initial spacing on branch size. **In: Symposium No 12 Proceedings**, Forest Research Institute, New Zealand Forest Service, 1970.