

Efeito da densidade inicial no crescimento de
Pinus taeda L. na região Centro Sul do ParanáEffects of the initial density on *Pinus taeda* L.
growth in the central southern region of ParanáJoão Maurício Pacheco¹, Afonso Figueiredo Filho², Andrea Nogueira Dias²,
Sebastião do Amaral Machado³ e Rodrigo Lima⁴**Resumo**

Avaliou-se o efeito de nove densidades iniciais no crescimento de *Pinus taeda* L., utilizando-se análise de tronco completa. O experimento foi instalado em 2002, no município de Irati, Paraná. Foram estabelecidos nove tratamentos, contendo espaçamentos entre 1,0 e 16,0 m². Os dados foram coletados aos 9 anos, estratificando em nove classes de diâmetro a altura do peito (DAP), selecionando-se uma árvore por classe, totalizando, 81 árvores. DAP, área transversal, volume individual, área basal e volume por hectare sofreram influência da densidade inicial a partir do quinto ano e os espaçamentos de 4 e 14 m² apresentaram, respectivamente, as maiores e menores taxas de incremento individuais. O espaçamento 14 m² teve crescimento médio em DAP, 37% maior que o espaçamento com menor crescimento (4 m²) aos nove anos. Altura média até nove anos não apresentou diferença estatística, demonstrando que essa variável é pouco influenciada pelo espaçamento, sendo a maior altura encontrada no espaçamento 14 m², 11% superior ao menor crescimento dessa variável (1 m²). Área basal e volume por hectare foram afetados pelo espaçamento e mostraram diferenças entre tratamentos a partir do quinto ano, onde espaçamentos de 1 e 2 m² tiveram maiores crescimentos para as duas variáveis.

Palavras-chave: Incremento, Espaçamento, Competição.

Abstract

The effect of nine initial densities on the growth of *Pinus taeda* L., was evaluated using complete stem analysis. The experiment was installed in 2002 in the county of Irati, Paraná State, Brazil. Nine treatments containing spacing between 1 and 16 square meters were established. Data were collected at age 9 years, stratifying in nine classes of diameters at breast height (DBH), selecting a tree per class, totaling 81 trees. DBH, cross-sectional area, individual volume, basal area and volume per hectare were influenced by the initial density from the fifth year and the vital spacing of 4 and 14 m² had, respectively, the highest and lowest rates of individual increment. 14 m² had a 37% higher growth in DBH, than the vital spacing compared to lower growth (4 m²) at nine years. The mean height to nine years showed no statistical difference, indicating that this variable is little influenced by spacing, with a height in 14 m² vital spacing 11% higher than the lowest growth of this variable (1m²). Basal area and volume per hectare were affected by spacing and showed differences between treatments from the fifth year where spacing of 1 and 2 m² had higher growth rates for those two variables.

Keywords: Increment, Spacing, Competition.

INTRODUÇÃO

O crescimento florestal é influenciado por inúmeros fatores, tais como: luminosidade, disponibilidade de nutrientes, densidade de plantio, genética, tipo de solo, clima, dentre outros. A densidade de plantio influencia diretamente

no crescimento florestal. Scolforo (1998) considera que a escolha do espaçamento tem como objetivo proporcionar o espaço suficiente para obtenção do máximo crescimento com a melhor qualidade e menor custo, a fim de proporcionar a mais adequada relação custo/benefício.

¹Mestre. UNICENTRO - Universidade Estadual do Centro-Oeste. PR-153 - Km 07, Riozinho - 84500-000 - Irati, PR. E-mail: pachecooflorestal@gmail.com.

²Professores Doutores do Departamento de Engenharia Florestal. UNICENTRO - Universidade Estadual do Centro-Oeste. PR-153, Km 07, Riozinho - 84500-000 - Irati, PR. E-mail: afgfilho@gmail.com; andias@unicentro.br.

³Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Rua Lothário Meisner, 632 - Jardim Botânico - Curitiba, PR. E-mail: samachado@ufpr.br

⁴Professor Doutor. SENAI - Faculdade de Tecnologia da Indústria. Av. Presidente Kennedy, 66, Centro, Telêmaco Borba - PR, 84260-400. E-mail: rodrigo.lima@pr.senai.br

Dependendo do espaçamento inicial utilizado se obtêm diferentes respostas de crescimento. Assim, conhecer como a floresta cresce ao longo dos anos é uma informação valiosa para o planejador florestal, que pode tomar decisões mais acertadas e seguras em relação às épocas oportunas de realizar podas, desbastes e a rotação do povoamento. Conhecer como a floresta se desenvolve exige remediações periódicas e, normalmente, a técnica mais empregada para isto é o Inventário Florestal Contínuo com o uso de parcelas permanentes.

Por outro lado, povoamentos com espécies que têm como característica a formação de um anel de crescimento anual, dispõem de uma tecnologia bastante acurada e rápida para avaliação, denominada de análise de tronco parcial ou completa. Esta técnica é de grande utilidade quando não se conhece o crescimento passado do povoamento, pois, de acordo com Finger (2006), a vantagem do método está na rapidez, boa precisão e baixo custo para a obtenção dos dados. Machado et al. (2010) mencionaram que é possível reconstituir o crescimento passado de uma árvore a partir de seu primeiro ano de vida utilizando de análise de tronco e com isto, pode-se estudar a influência da densidade inicial no crescimento florestal.

Muitos autores têm estudado o efeito da densidade do povoamento no crescimento florestal, podendo-se citar, entre outros, Berenhauser (1971), Balloni e Simões (1980), Jones (1987), Crechi (1996), Leite et al. (2006), Pauleski (2010) e Lima (2010). Todavia, a maioria destas pesquisas não empregou as novas tecnologias silviculturais que vêm sendo utilizadas nos plantios florestais brasileiros.

Desta forma, é importante a realização de estudos relacionados a diferentes densidades iniciais diante das novas tecnologias silviculturais (sementes melhoradas, clones, preparo do solo, técnicas de plantios, podas, desbastes, etc). Além disso, decisões acerca da densidade inicial têm grande repercussão nos custos de plantio e na manutenção da floresta, os quais têm aumentando muito no Brasil, principalmente devido às dificuldades crescentes relacionadas à mão-de-obra rural.

Este estudo objetivou analisar o efeito de nove densidades iniciais no crescimento de variáveis dendrométricas em povoamentos de *Pinus taeda* na região Centro-Sul do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de *Pinus taeda* utilizado nesta pesquisa tem área de 2,52 ha e está localizado no Campus da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), município de Irati, Estado do Paraná, tendo como latitude 25° 27' 57" S e longitude 50° 38' 51" O, a uma altitude média de 810 m.

O plantio foi estabelecido em 2002 e as mudas utilizadas foram produzidas com sementes originadas de pomar clonal. De acordo com Lima (2010) o preparo de solo da área do experimento foi feito por aração e o plantio foi manual, com perfuração de covas com o uso de sacho. O controle de formigas cortadeiras foi feito por ocasião do plantio, com o uso de iscas formicidas, a base de 10 g por 100 m² de terreno. A limpeza da área foi realizada um ano após o plantio por meio de coroamento ao redor das plantas e capina nos espaços entre blocos, tendo sido repetida.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco repetições e nove tratamentos, contemplando espaçamentos entre 1,0 m² e 16,0 m², com espaçamentos de 1,0 x 1,0 m; 2,0 x 1,0 m; 2,0 x 2,0 m; 3,0 x 2,5 m; 3,0 x 3,0 m; 3,5 x 3,0 m; 4,0 x 3,0 m; 4,0 x 3,5 m e 4,0 x 4,0 m. O tamanho da parcela de cada tratamento variou em função do espaçamento, ou seja, densidades maiores envolveram maiores áreas.

Como o objetivo foi utilizar a análise de tronco (ANATRO) completa para avaliar o crescimento, primeiramente foi realizado um inventário por tratamento, mensurando 25 árvores do centro de cada bloco para evitar o efeito de borda. A partir dos dados obtidos das 25 árvores centrais de cada bloco, optou-se por classificar em classes de diâmetro por espaçamento, determinadas pela fórmula de Sturges (1926) a qual definiu nove classes diamétricas.

Os dados foram coletados nos meses de junho e julho de 2012, sendo escolhida uma árvore por classe de diâmetro em cada uma das 9 classes por tratamento, baseado na distribuição diamétrica do tratamento, não se considerando a distribuição por blocos. Assim, foram derrubadas 81 árvores e retirados 11 discos de cada indivíduo, totalizando 891 discos.

Os discos foram coletados nas alturas absolutas 0,10 e 1,30 m; e a 15%, 25%,..., 85%, 95% da altura total. Quatro raios traçados nos discos foram medidos com a ajuda do equipamento LINTAB VI, sendo os dados processados utilizando o FlorExel (ARCE et al., 2002).

O modelo biológico de *Chapman-Richards* foi utilizado a fim de suavizar as curvas de produção e incrementos (curva média), facilitando a análise do crescimento em cada tratamento para as variáveis individuais diâmetro a 1,3 m do solo (DAP), altura total, área transversal e volume.

As curvas de crescimento acumulado e dos incrementos médio (IMA) e corrente (ICA) anual das variáveis DAP (cm), altura (m), área transversal (m²) e volume (m³) foram geradas a partir desses ajustes, com o propósito de facilitar a visualização da diferença de incremento nos tratamentos de alta, média e baixa densidade (1 m², 7,5 m² e 16 m²), a fim de determinar a idade ótima de corte (ITC) para os mesmos.

A área basal e o volume sem casca por unidade de área (ha) em cada tratamento foram determinadas a partir da área transversal e volume médios, ambos sem casca, geradas pela ANATRO em cada idade, multiplicando-as pelo número de árvores sobreviventes por ha em cada idade.

O experimento foi implementado em blocos ao acaso, mas como na presente pesquisa, a amostragem das árvores para análise de tronco foi realizada em classes de diâmetro e independentemente dos blocos, utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) para analisar os efeitos da densidade inicial no crescimento das variáveis dendrométricas estudadas. Esta decisão também foi embasada nas análises realizadas por Lima (2010), que não encontrou diferenças estatísticas entre os Blocos e portanto o experimento pode ser analisado como um DIC.

O teste de Bartlett foi aplicado para as variáveis DAP, altura total, área transversal e volume para verificar a homogeneidade de variância dos dados em nível de 5% de significância. Quando esta condição não foi encontrada os dados foram transformados de modo a torná-los homo-

gêneos, realizando-se então a ANOVA, utilizada para avaliar o efeito do espaçamento sobre as variáveis analisadas. Quando o teste F da ANOVA foi significativo, aplicou-se o teste de Duncan, também em nível de 5% de significância, para verificar a existência de diferenças entre as médias dos tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diâmetro a altura do peito (DAP)

A Tabela 1 apresenta as médias do crescimento do diâmetro médio aritmético (DAP) sem casca. Nos primeiros anos não foram notadas diferenças entre os tratamentos, observando-se alteração do crescimento em diâmetro (DAP) apenas a partir do 5º ano. O espaçamento 14 m² foi o que produziu maior média de diâmetro (23,41 cm) ao longo do tempo, sendo estatisticamente igual aos espaçamentos seguidos de mesma letra. Para a idade 9 anos a maior média de DAP (23,41 cm) foi 37,1% maior que a menor média (14,73 cm) para o espaçamento de 4 m², indicando um diferencial no incremento médio anual de cerca de 1 cm (produção maior que 8,68 cm em 9 anos) para cada árvore.

Nota-se uma clara diferença do crescimento do DAP conforme o aumento da idade em relação aos tratamentos, onde espaçamentos mais densos apresentaram menores diâmetros, comparados aos espaçamentos mais abertos, como esperado do ponto de vista biológico.

Lima (2010) trabalhou com o mesmo experimento e analisou os dados até a idade de 7 anos, utilizando-se dados de parcelas permanentes. Encontrou o maior diâmetro no espaçamento 14 m² (18,75 cm com casca). Na presente pesquisa o maior diâmetro aos 7 anos (16,43 cm sem casca) também foi encontrado no espaçamento

Tabela 1. Médias por idade do diâmetro a altura do peito (DAP) sem casca para *Pinus taeda* em 9 diferentes espaçamentos.

Table 1. Mean diameter at breast height (DBH) under bark by age for *Pinus taeda* at 9 different spacings.

Tratamento (m x m)	Idade (anos)						
	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	2,04 a	5,11 a	5,56 b	7,84 c	8,96 c	10,26 b	15,53cd
2 x 1 (2 m ²)	2,16 a	4,44 a	6,66 b	8,42 bc	9,83bc	10,90 b	15,09cd
2 x 2 (4 m ²)	2,22 a	4,37 a	6,76 b	9,01bc	10,63bc	11,83 b	14,73 d
3 x 2,5 (7,5 m ²)	3,30 a	6,07 a	9,35 a	11,29ab	13,27ab	14,98ab	19,48ab
3 x 3 (9 m ²)	2,99 a	6,52 a	10,26 a	13,32 a	15,79 a	17,89 a	21,99ab
3 x 3,5 (10,5 m ²)	3,25 a	6,25 a	9,61 a	12,89 a	15,59 a	17,52 a	22,72 a
4 x 3 (12 m ²)	3,63 a	6,83 a	10,53 a	13,47 a	15,95 a	18,22 a	20,69ab
4 x 3,5 (14 m ²)	3,51 a	7,04 a	10,74 a	13,76 a	16,43 a	19,15 a	23,41 a
4 x 4 (16 m ²)	2,83 a	6,07 a	9,97 a	13,06 a	15,90 a	18,58 a	21,65ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de significância (p < 0,05). Means followed by the same letter in the column don't differ significantly by the Duncan test at the 5% level of significance (p < 0.05).

14 m². É importante ressaltar que essa diferença entre os diâmetros é devida principalmente aos dados advindos da análise de tronco que gera diâmetros sem casca. Acrescentando-se a casca, os valores seriam bastante próximos, indicando que as duas técnicas empregadas podem apresentar estimativas similares. Constata-se assim, que a análise de tronco completa embora trabalhando com uma intensidade menor de árvores pode resultar em bons estimadores, desde que a amostra seja criteriosamente selecionada.

Pauleski (2010) encontrou resultados semelhantes para *Pinus taeda* onde, em espaçamentos mais abertos o DAP apresentou maiores diâmetros. Sanquetta et al. (2003) constataram a ocorrência da estagnação do crescimento mais cedo para o DAP em espaçamentos mais densos para a espécie *Pinus taeda*. Chies (2005), trabalhando com *Pinus taeda* L., obteve valores de DAP que apresentaram tendência de aumento para espaçamentos maiores entre árvores. Berger (2000), estudando o crescimento de *Eucalyptus saligna* Smith em diferentes espaçamentos, constatou que aos 10,5 anos o DAP apresentava uma relação direta com os espaçamentos, ou seja, o maior espaçamento proporcionou maior DAP.

A curva de produção da Figura 1 mostra que para os espaçamentos 1 m² (densidade alta), 7,5 m² (densidade média) e 16 m² (densidade baixa), existe um padrão esperado de crescimento, onde espaçamentos mais adensados tendem a ter uma menor produção em termos de árvore individual, se comparados com espaçamentos menos densos.

O cruzamento das curvas de crescimento para o DAP (IMA e ICA) ocorreu aos 6,3, 7,2 e aos 8,6 anos, respectivamente (Figura 1) para os espaçamentos 1, 7,5 e 16 m². Este comportamento é explicado devido à estagnação do crescimento pela alta competitividade dos espaçamentos mais

adensados, fazendo com que as curvas de ICA e IMA se cruzem mais cedo. Leite et al. (2006) observaram para *Pinus taeda* um cruzamento mais precoce das curvas de ICA e IMA referente ao DAP em espaçamentos mais adensados.

Observa-se também que as curvas de produção corresponderam a realidade biológica, onde espaçamentos mais adensados propiciaram menor crescimento diamétrico em relação a espaçamentos mais abertos.

Área transversal

Na Tabela 2 são apresentadas as análises estatísticas para a área transversal. Constatou-se diferenças entre tratamentos a partir do 5º ano, onde o espaçamento 14 m² propiciou o maior valor de área transversal média (0,00946 m²). Os menores valores médios de área transversal por indivíduo foram encontrados nos espaçamentos mais adensados. A maior área transversal média observada aos 9 anos de idade no tratamento com 14 m² (0,0436 m²), é 58,7% maior que a menor média (0,0180 m² do tratamento 4 m²).

É de fácil visualização um aumento gradativo da área transversal conforme o aumento do espaçamento, o que pode ser devido à baixa competição por nutrientes e por luz, favorecendo o crescimento nos espaçamentos mais abertos. Sanquetta et al. (2003) encontraram aos 7,7 e 8,75 anos diferença em todos os espaçamentos testados, havendo também um aumento progressivo da área transversal com o aumento do espaçamento.

Lima (2010), para a mesma área utilizando-se de parcelas permanentes, encontrou diferença na área transversal também a partir do quinto ano; o espaçamento 14 m² foi o que produziu a maior área transversal, igualando-se a presente pesquisa que utilizou análise de

Tabela 2. Médias por idade da área transversal (g) sem casca para *Pinus taeda* em 9 diferentes espaçamentos.
Table 2. Mean cross sectional area (g) under bark by age for *Pinus taeda* at 9 different spacings.

Tratamentos (m x m)	Idade (Anos)						
	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	0,0006 a	0,0019 a	0,0030 c	0,0056 b	0,0073 b	0,0091 c	0,0193 b
2 x 1 (2 m ²)	0,0005 a	0,0019 a	0,0041 bc	0,0063 b	0,0084 b	0,0104 bc	0,0186 b
2 x 2 (4 m ²)	0,0005 a	0,0018 a	0,0041 bc	0,0069 b	0,0096 b	0,0120 bc	0,0180 b
3 x 2,5 (7,5 m ²)	0,0009 a	0,0028 a	0,0072 ab	0,0108 ab	0,0148 ab	0,0189 ab	0,0307 ab
3 x 3 (9 m ²)	0,0008 a	0,0037 a	0,0089 a	0,0151 a	0,0214 a	0,0279 a	0,0415 a
3 x 3,5 (10,5 m ²)	0,0011 a	0,0035 a	0,0076 ab	0,0139 a	0,0204 a	0,0273 a	0,0416 a
4 x 3 (12 m ²)	0,0012 a	0,0040 a	0,0092 a	0,0150 a	0,0212 a	0,0276 a	0,0302 ab
4 x 3,5 (14 m ²)	0,0012 a	0,0042 a	0,0095 a	0,0154 a	0,0220 a	0,0299 a	0,0436 a
4 x 4 (16 m ²)	0,0009 a	0,0032 a	0,0084 a	0,0142 a	0,0209 a	0,0284 a	0,0377 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de significância (p < 0,05).
Means followed by the same letter in the column don't differ significantly by the Duncan test at the 5% level of significance (p < 0,05).

tronco. Chies (2005), testando a influência do espaçamento para *Pinus taeda* com 21 anos de idade, constatou que a proporção de madeira juvenil em relação à área transversal aumenta com o aumento do espaçamento.

Analisando as curvas de produção e incrementos para área transversal (Figura 2), observa-se que o espaçamento mais amplo (16 m²) possui maior produção individual (0,0377 m² aos 9 anos) quando comparado com os espaçamentos menores (1 e 7,5 m²). É evidente a diferença de crescimento da área transversal, mostrando que há uma ligação direta entre a

escolha do espaçamento inicial com o desenvolvimento da área transversal.

As curvas de incremento não atingiram o máximo valor com exceção do espaçamento 1 m². Isto indica que a área transversal ainda está aumentando para os espaçamentos de média e baixa densidade, notando-se baixo incremento no espaçamento menor, reforçando que quanto menor o espaçamento menor é o crescimento da área transversal. Para o espaçamento 1 m², verifica-se que as curvas de ICA e IMA já se encontraram ou seja já foi atingido o máximo IMA.

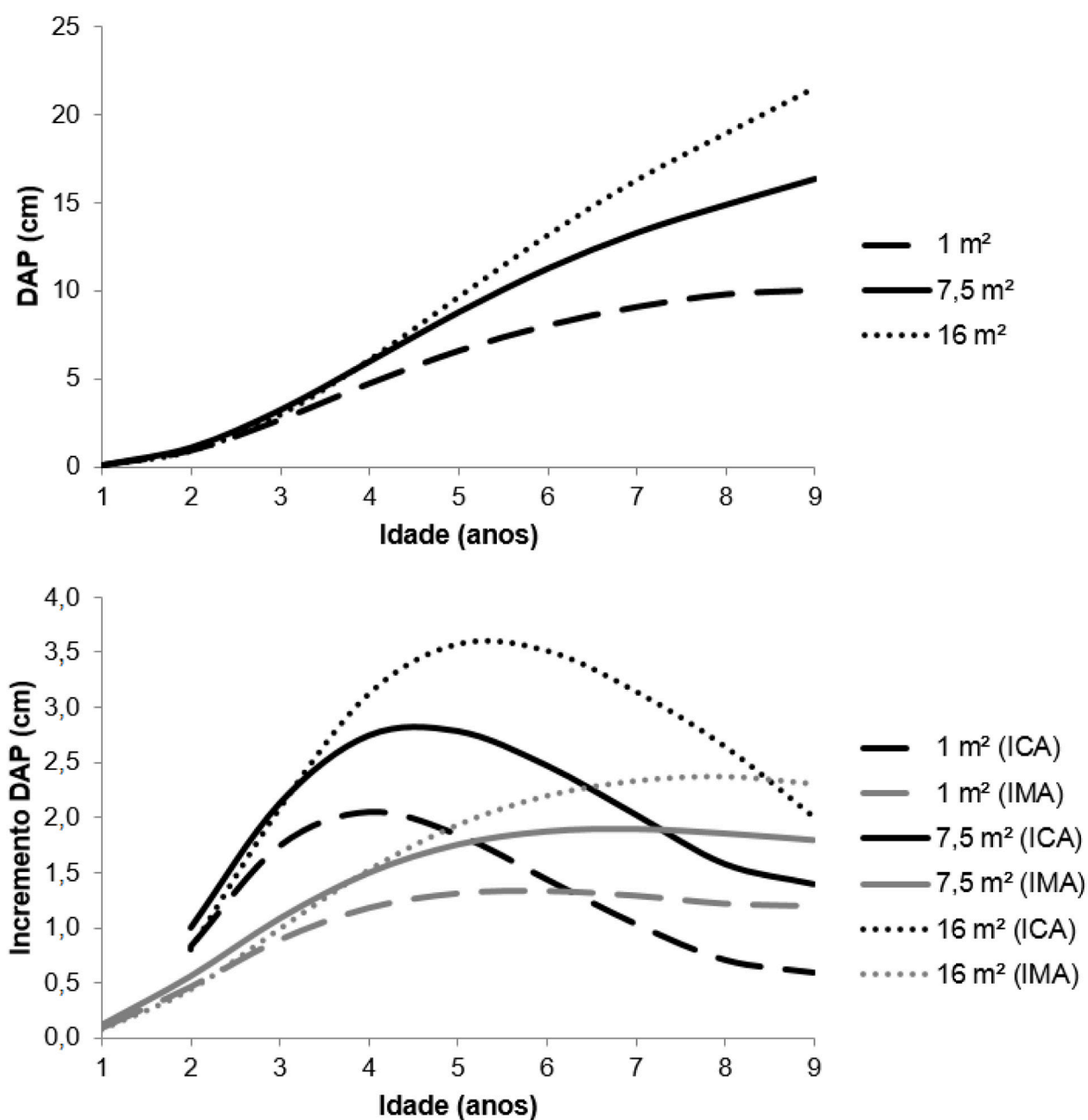


Figura 1. Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para o diâmetro a altura do peito (DAP) para espaçamento menor (1 m²), médio (7,5 m²) e maior (16 m²).

Figure 1. Yield, current annual increment (CAI) and mean annual increment (MAI) curves for DBH, for smaller (1 m²), average (7,5 m²) and higher (16 m²) spacings.

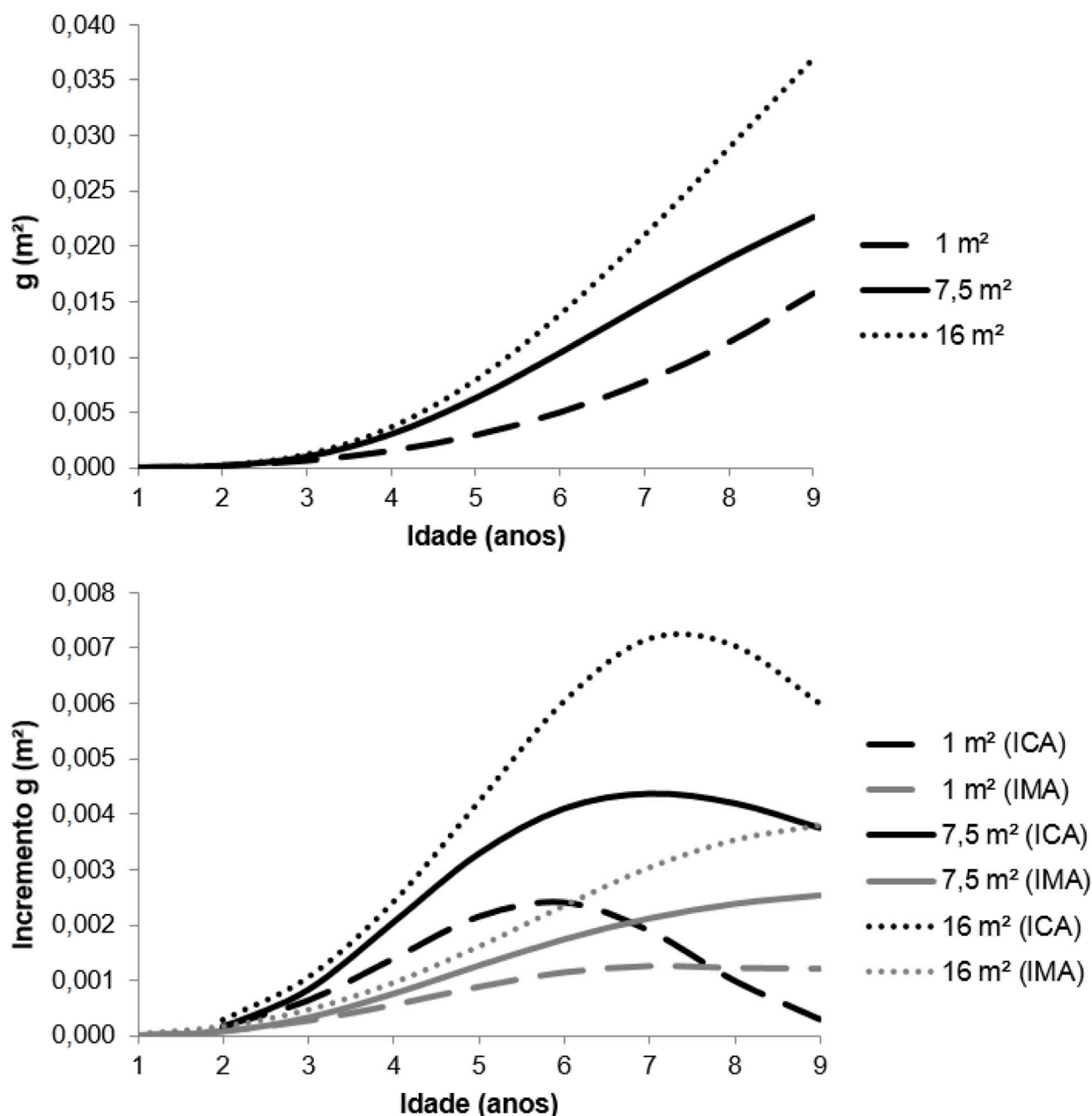


Figura 2. Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para a área transversal (g) no espaçamento menor ($1 m^2$), médio ($7,5 m^2$) e maior ($16 m^2$).

Figure 2. Curves of production and current annual increment (AI) and mean annual increment (AA) for cross-sectional area (g) for smaller ($1 m^2$), medium ($7.5 m^2$) and higher spacings ($16 m^2$).

Constata-se finalmente, que a máxima produção da área transversal para o espaçamento mais denso ocorre aos 7,8 anos, idades de rotação técnica segundo a área basal, mostrando que a competição está elevada. Todavia, a máxima produção de biomassa (volume) ainda não foi atingida e isto ocorrerá mais tarde.

Altura total

Observou-se pela análise de variância que o crescimento da altura total média foi estatisticamente igual até os nove anos de idade, ou seja, o espaçamento não afetou o crescimento da altura total média (Tabela 3). A máxima altura média

(15,81 m) é observada no espaçamento $14 m^2$ aos nove anos, sendo 11% maior que a média de altura do espaçamento $1 m^2$ (14,06 m). Esta diferença equivale a cerca de 20 cm de incremento médio anual a mais em altura e por isto a constatação de que a densidade inicial pouco interfere no crescimento da altura média da floresta.

Todavia, fica evidente um maior crescimento em altura nos últimos anos nos espaçamentos mais abertos e um crescimento menor para espaçamentos mais fechados. Lima (2010), por outro lado, para o mesmo experimento, mas utilizando-se de parcelas permanentes encontrou uma maior altura no espaçamento $2 m^2$ (10,03 m) aos 7 anos

Tabela 3. Médias por idade da altura total para *Pinus taeda* em 9 diferentes espaçamentos.
Table 3. Mean age of the total height for *Pinus taeda* in 9 different spacing conditions.

Tratamentos (m x m)	Idade (Anos)							
	2	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	2,02 a	3,27 a	5,76 a	6,09 a	7,99 a	9,58 a	11,27 a	14,06 a
2 x 1 (2 m ²)	1,55 a	3,11 a	4,86 a	6,92 a	8,52 a	10,26 a	11,81 a	14,56 a
2 x 2 (4 m ²)	1,66 a	3,04 a	4,57 a	6,63 a	8,57 a	10,21 a	11,86 a	14,25 a
3 x 2,5 (7,5 m ²)	1,70 a	3,65 a	5,50 a	7,21 a	8,24 a	9,72 a	11,83 a	14,23 a
3 x 3 (9 m ²)	1,82 a	3,13 a	5,15 a	7,05 a	9,07 a	11,22 a	13,13 a	14,97 a
3 x 3,5 (10,5 m ²)	1,89 a	3,55 a	5,24 a	7,07 a	9,08 a	10,59 a	12,80 a	14,69 a
4 x 3 (12 m ²)	1,95 a	3,53 a	5,13 a	6,80 a	8,58 a	10,41 a	12,23 a	14,30 a
4 x 3,5 (14 m ²)	2,10 a	3,72 a	5,40 a	7,46 a	9,12 a	11,35 a	13,79 a	15,81 a
4 x 4 (16 m ²)	1,76 a	3,16 a	5,25 a	7,29 a	8,72 a	10,43 a	12,92 a	14,87 a

Teste F a 5% de significância não apresentou diferença estatísticas entre os tratamentos.

F test at 5% significance level showed no statistical difference between the treatments.

de idade. Isto pode ter ocorrido, entre muitos outros fatores inerentes à medição de altura, ao fato de que as medições de altura realizadas pelo mesmo autor foram por meio de medidas indiretas, utilizando o hipsômetro de Häglof. Quando se usa a ANATRO completa somente a ponta da árvore é estimada em todas as idades, exceto na idade da derrubada da árvore (neste estudo aos 9 anos) onde se tem a altura real da árvore. É importante salientar que as comparações se referem à média da altura nas várias idades obtidas por processos diferentes, envolvendo amostras diferentes.

Chies (2005) também não encontrou diferença estatística para as alturas em um experimento que testava a influência de diferentes espaçamentos para *Pinus taeda* aos 21 anos no município de Três Barras, Santa Catarina.

Pauleski (2010) encontrou resultados semelhantes para *Pinus taeda* em relação à altura para diferentes espaçamentos, observando uma tendência monomórfica das curvas de altura em relação à idade. Por outro lado, Sanquetta et al. (2003) constataram diferenças no crescimento médio em altura de povoamento de *Pinus taeda* nas idades de 4,5 e 5,9 anos, onde em espaçamentos mais abertos, obtiveram um crescimento menor.

Leite et al. (2006) observaram diferença estatística no crescimento em altura a partir do décimo ano, sendo que a diferença das médias aos 14 anos foi de no máximo 1,1 m, enfatizando a pouca influência do espaçamento no crescimento em altura. No presente trabalho, a diferença na altura aos nove anos entre tratamentos foi de no máximo 1,75 m.

Para melhor visualização, construíram-se as curvas de produção e de incremento utilizando os espaçamentos extremos e o espaçamento médio (1 m², 7,5 m² e 16 m²) ilustrado na Figura 3. É possível verificar um afastamento maior entre as curvas com o avanço da idade e que as curvas

de ICA e IMA não se cruzaram ainda, mas indicam que isto deve ocorrer aos 10 anos de idade para o espaçamento menor.

Volume total sem casca

Os resultados do teste de Duncan para o volume total sem casca (Tabela 4) indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos a partir da idade 5 anos. Constatou-se também que o maior volume produzido está no espaçamento 14 m² aos 9 anos (0,2720 m³), como já ocorresse para as outras variáveis, exceto para a altura total. Se comparado em termos percentuais o maior volume médio (0,2720 m³) com o menor (0,1328 m³), observa-se uma diferença de 55% entre os valores, ressaltando a influência do espaçamento no crescimento em volume individual. Isto é equivalente a um adicional de incremento médio anual de cerca de 0,015 m³ para cada indivíduo (0,1392 m³ em 9 anos).

Sanquetta et al. (2003) encontraram diferença no volume individual para *Pinus taeda* a partir dos 4,5 anos. Essas diferenças ocorreram nos primeiros espaçamentos, as quais se intensificaram de forma crescente até a idade de 8,75 anos, onde todos os espaçamentos diferiram significativamente entre si.

Balloni e Simões (1980) afirmaram que o volume individual produzido aumenta quando se aumenta o espaçamento, apesar do volume total por hectare diminuir. Estes casos tornam-se mais importantes à medida que se exigem madeiras de bitolas mais largas.

Para espaçamentos menores, a produção volumétrica por indivíduo tende a ser menor, mas em relação à produção por unidade de área (m³/ha), é maior em espaçamentos mais adensados, sendo mais aconselhável a utilização desses tipos de espaçamentos para indústria de papel, celulose e/ou energia.

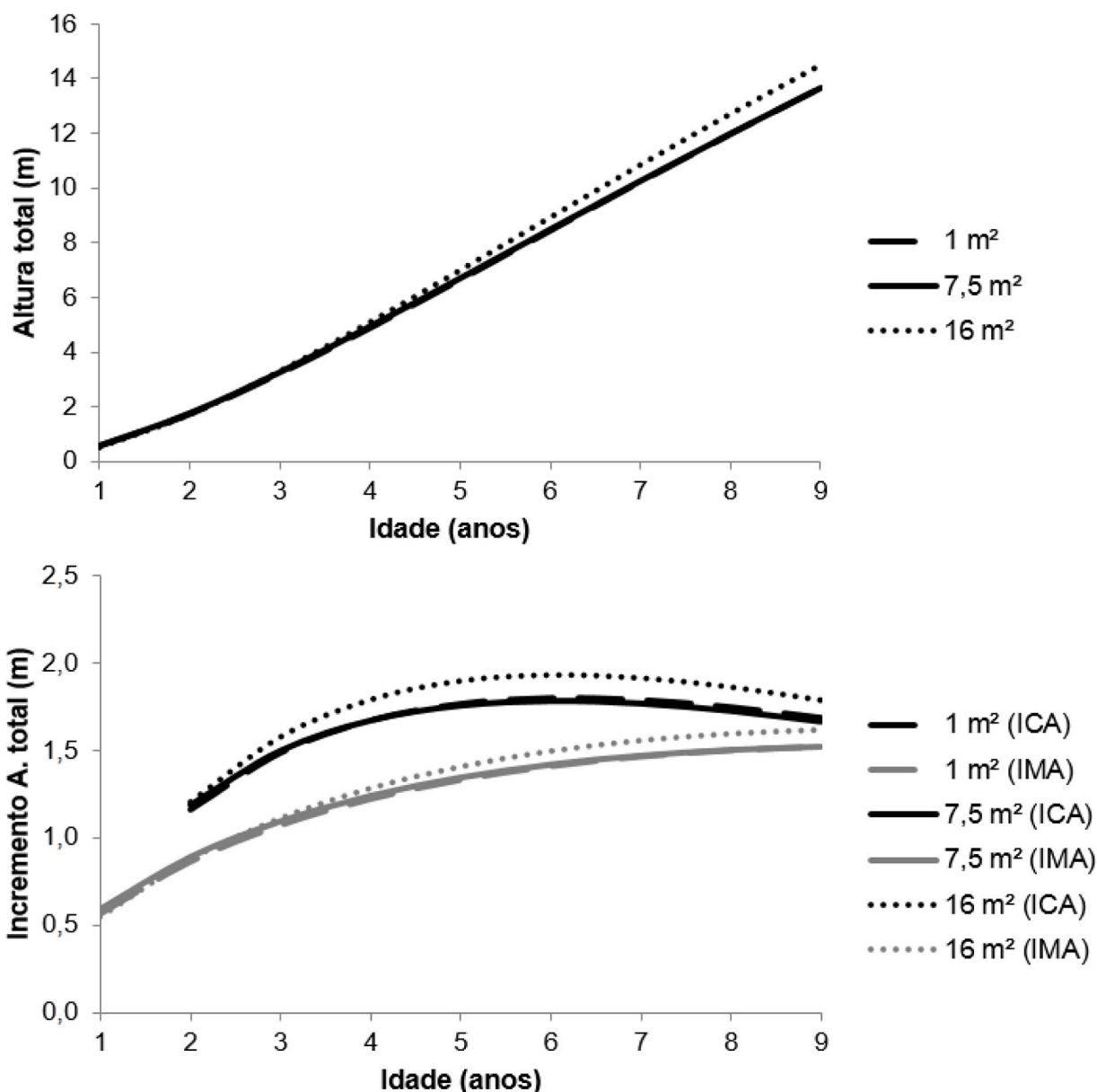


Figura 3. Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para altura total no espaçamento menor (1 m²), médio (9 m²) e maior (16 m²).

Figure 3. Yield, current annual increment (CAI), and mean annual increment (MAI) curves for total height at smaller (1m²), average (7.5 m²) and higher spacings.

Tabela 4. Médias por idade do volume total sem casca (v) para *Pinus taeda* em 9 diferentes espaçamentos.

Table 4. Mean total volume under bark for *Pinus taeda* at 9 different spacings.

Tratamentos (m x m)	Idade (Anos)						
	3	4	5	6	7	8	9
1 x 1 (1 m ²)	0,0019 a	0,0062 a	0,0117c	0,0266c	0,0405b	0,0600c	0,1513 ab
2 x 1 (2 m ²)	0,0017 a	0,0059 a	0,0153 bc	0,0282c	0,0438b	0,0636 bc	0,1328 bc
2 x 2 (4 m ²)	0,0015 a	0,0054 a	0,0156 bc	0,0306 bc	0,0481b	0,0698 bc	0,1224 bc
3 x 2,5 (7,5 m ²)	0,0025 a	0,0084 a	0,0266 ab	0,0455 ab	0,0706 ab	0,1054ab	0,1905 ab
3 x 3 (9 m ²)	0,0024 a	0,0116 a	0,0337 a	0,0654 a	0,1075 a	0,1605a	0,2582 ab
3 x 3,5 (10,5 m ²)	0,0030 a	0,0106 a	0,0275 ab	0,0583 ab	0,0961 a	0,1470a	0,2552 ab
4 x 3 (12 m ²)	0,0032 a	0,0115 a	0,0319 a	0,0602 a	0,0962 a	0,1416a	0,2466 ab
4 x 3,5 (14 m ²)	0,0036 a	0,0137 a	0,0356 a	0,0675 a	0,1110 a	0,1725a	0,2720 a
4 x 4 (16 m ²)	0,0021 a	0,0099 a	0,0312 ab	0,0608 ab	0,1028 a	0,1583a	0,2364 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).
Means followed by the same letter in the column don't differ significantly by the Duncan test at the 5% level of significance ($p < 0,05$).

Jones (1987) mencionou que espaçamento abaixo de 1,8 x 1,8 m não são eficientes para a produção de volume comercial de maior valor agregado, quando não efetuado desbaste. Berger (2000), estudando o crescimento de *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos, constatou que para o volume comercial sem casca por árvore, ocorreu diferença significativa entre todos os espaçamentos estudados, com superioridade para o maior espaçamento (12 m²).

É possível notar que a média do volume individual é maior no espaçamento mais aberto (0,2364 m³) que no espaçamento médio (0,1905 m³), tendo-se no espaçamento mais adensado, o menor volume individual (0,1513 m³). Ao comparar o espaçamento 1, 7,5 e 16 m², nota-se uma diferença na média do volume individual

de 20% entre o espaçamento 1 e 7,5 m² e uma diferença de 19% entre o espaçamento 7,5 e 16 m².

Os incrementos para os espaçamentos de baixa, média e alta densidade produziram resultados bastante distintos (Figura 4). Sanquetta et al. (2004) mencionaram que em espaçamentos mais densos com o objetivo de produzir biomassa, não devem ser adotados desbaste; esses mesmos autores afirmaram que o corte raso deve ser efetuado não antes dos 15 anos, pois o incremento volumétrico do *Pinus taeda* entre 15 e 20 anos compensa financeiramente o retardamento do corte.

Ressalta-se que as curvas de ICA e IMA ainda não se cruzaram, indicando que a máxima produção volumétrica ou de biomassa ainda poderá demorar mais alguns anos.

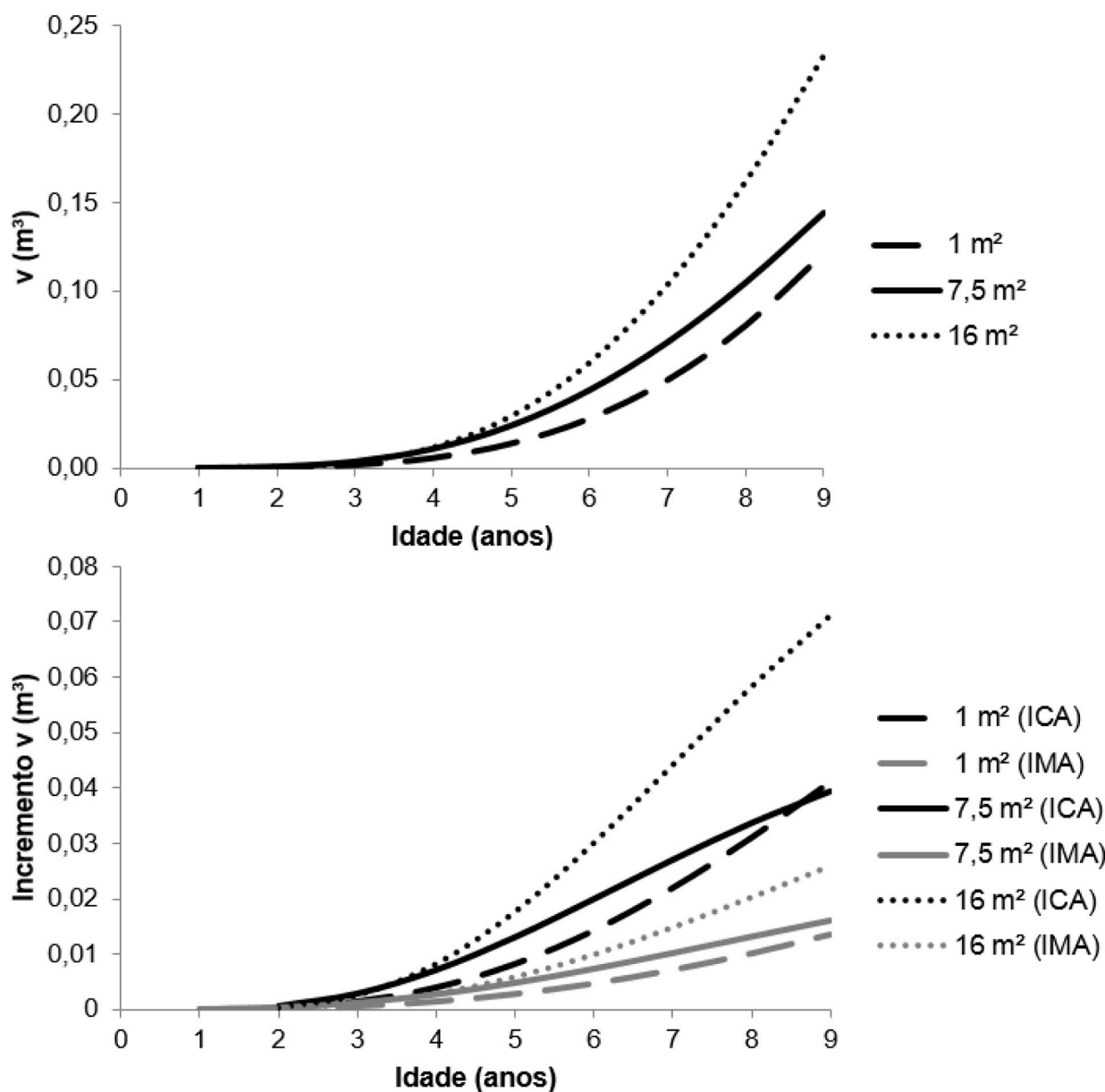


Figura 4. Curvas de produção e de incremento corrente anual (ICA) e médio anual (IMA) para volume total médio individual sem casca (v) no espaçamento menor (1 m²), médio (7,5 m²) e maior (16 m²).

Figure 4. Yield, current annual increment (CAI), and mean annual increment curves for average individual volume under bark (v) in the smallest (1 m²), average (7.5 m²) and highest spacings.

Área basal e volume por hectare

A área basal é altamente influenciada pela variável densidade, onde em espaçamentos menores tende a ser maior. Observa-se uma maior produção para a área basal no espaçamento 1 m² (81,87 m²) e o menor crescimento encontra-se no de 16 m² (22,95 m²) aos nove anos, ou 72% de diferença entre os tratamentos, equivalente a um incremento de 6,55 m²/ha/ano. Chegou-se a uma área basal bastante elevada para o espaçamento 1 m². Isto é decorrente da sobrevivência por hectare estimada com parcelas pequenas, sendo os tratamentos proporcionais em quantidade de árvores (Figura 5).

O crescimento em área basal é avaliado em função da medição do diâmetro. É importante levar em conta que um crescimento constante por ano da área basal significa que o crescimento diamétrico vem diminuindo (ENCINAS et al., 2005). O aumento do número de árvores por hectare aumenta a área basal significativamente, até o momento em que se inicia a competição entre as árvores, estabelecendo-se a seguir a mortalidade natural e com isso a redução momentânea da área basal (SCHNEIDER; FINGER, 1994).

Sanquetta et al. (2003) constataram também que a área basal por hectare diminuiu com o aumento do espaçamento. Leite et al. (2006) verificaram que quanto menor o espaçamento, maior a estimativa média da área basal. Esses resultados indicam que a área basal é estritamente ligada com a densidade do povoamento, sendo a escolha do espaçamento de grande importância no enfoque da matéria prima desejada.

A variável mais importante em um plantio

florestal é sem dúvida o volume por hectare que representa a produção por unidade de área, ou o estoque existente em um dado momento da floresta. Na Figura 6, constata-se que os espaçamentos mais densos resultaram maiores produções em volume por unidade de área aos 9 anos de idade, sendo o espaçamento 1 m² com a maior produção por hectare (632,40 m³/ha) e o de menor produção, o espaçamento 12 m² (142 m³/ha), diferença de 77,5%, equivalente a um incremento de 54,4 m³/ha/ano.

Como já mencionado para a área basal por hectare, as estimativas dos volumes médios por hectare aos 9 anos para os espaçamentos mais adensados, principalmente nos espaçamentos de 1 e 2 m², estão consideravelmente acima do esperado (632,40 m³/ha, ou 70,23 m³/ha/ano e 474,80 m³/ha ou 52,76 m³/ha/ano) para um sítio de média produtividade onde o experimento está instalado. Isto se deve às estimativas de sobrevivência por hectare. As parcelas analisadas para os espaçamentos 1 e 2 m² possuem áreas de 25 e 50 m², respectivamente, tamanho pequeno que pode acarretar erros consideráveis nas inferências para o número de árvores sobreviventes por hectare.

Resultados semelhantes foram encontrados por Sanquetta et al. (2003), os quais constataram que o aumento do espaçamento provocou uma menor produção volumétrica total de madeira de *Pinus taeda* nas idades iniciais, assim como um aumento do volume individual médio das árvores, permitindo a produção de madeira com maiores possibilidades de uso e preços diferenciados.

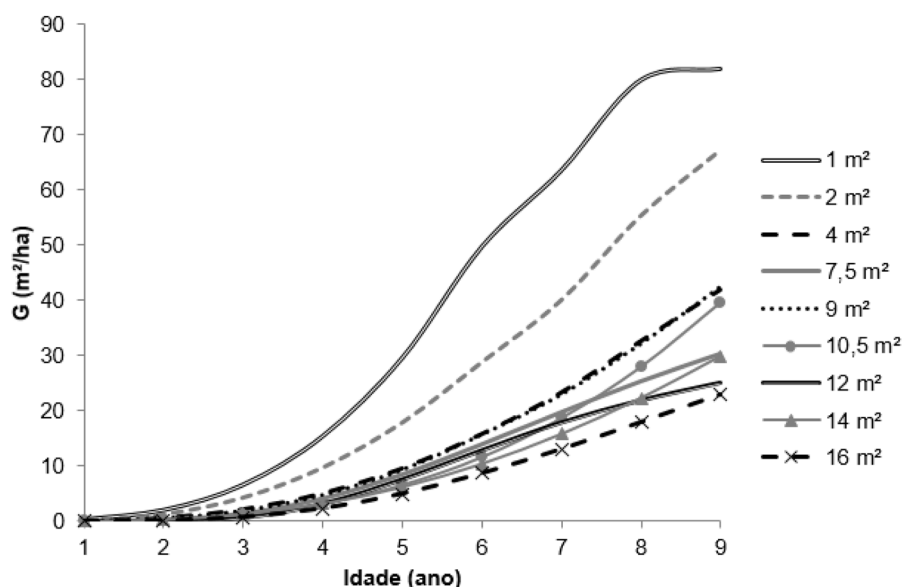


Figura 5. Área Basal (G) estimada por espaçamento para cada tratamento ao longo dos anos.
Figure 5. Basal Area (G) estimated by spacing for each treatment over the years.

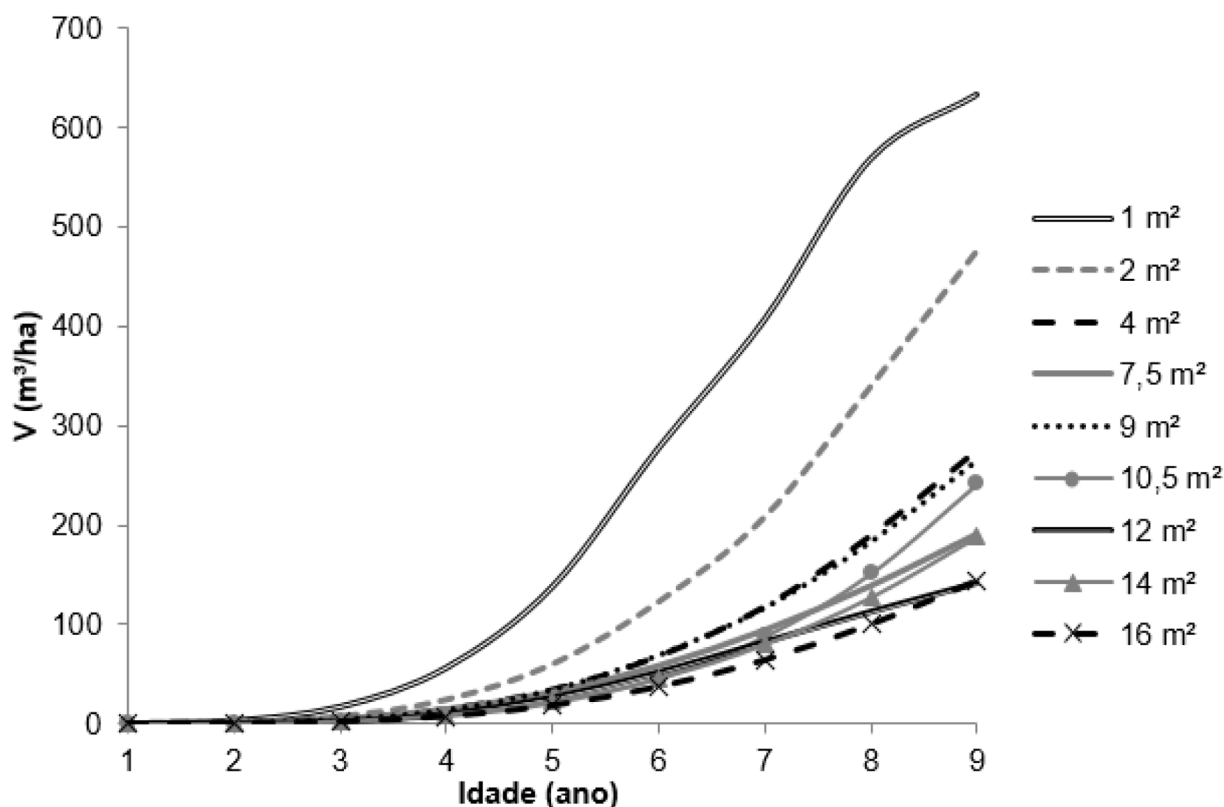


Figura 6. Volume total sem casca (V) estimado por hectare para cada tratamento ao longo dos anos.
Figure 6. Total volume under bark estimated (V) per hectare for each treatment over the years.

Balloni e Simões (1980) mencionaram que a adoção de espaçamentos não adequados para certas espécies pode resultar em um número excessivo de árvores dominadas, as quais influenciam negativamente no volume útil e possivelmente no volume total. Jones (1987) afirmou que o crescimento do volume comercial diminuiu drasticamente depois dos 25 anos, especialmente para o espaçamento 5,8 m² e para os mais adensados.

Análise global da influência do espaçamento no crescimento das variáveis estudadas

Os resultados obtidos mostram a influência do espaçamento nas variáveis de crescimento, exceto para a altura total média, que não sofre influência direta da densidade inicial. Portanto, dependendo do espaçamento inicial, pode-se planejar a geração de produtos diferenciados para processos produtivos, onde diâmetros menores são utilizados na produção de papel e celulose e diâmetros maiores, voltados para serrarias e laminadoras.

A partir de uma análise dos resultados estatísticos das Tabelas 1, 2 e 4, respectivamente para a

produção dos 9 tratamentos em diâmetro, área transversal e volume individual, notou-se uma divisão clara entre os tratamentos, o que possibilita dividi-los em dois grupos para manejos diferenciados visando gerar produção para biomassa, ou regime de manejo denominado “pulpwood”, em uma rotação menor ou para regime de manejo denominado “utility”, em rotações mais longas. Este fato pode ser visualizado na Figura 7, onde se observa que as curvas de produção do diâmetro, área transversal e volume do espaçamento 7,5 m² separam os tratamentos em dois grupos que poderiam caracterizar os regimes de manejo mencionados.

A densidade inicial que separa esses dois grupos está no espaçamento 7,5 m² que seria um divisor de densidade inicial para a geração de produtos diferenciados: manejo para biomassa (Grupo 1) e para multiprodutos (Grupo 2).

Com base nos resultados do experimento até o momento, poderia ser recomendado um espaçamento de 7,5 m² quando o produto final ainda tem destino incerto, ou seja, para aquele proprietário que ao implantar sua floresta, ainda não tem muito claro para onde irá destinar sua produção final.

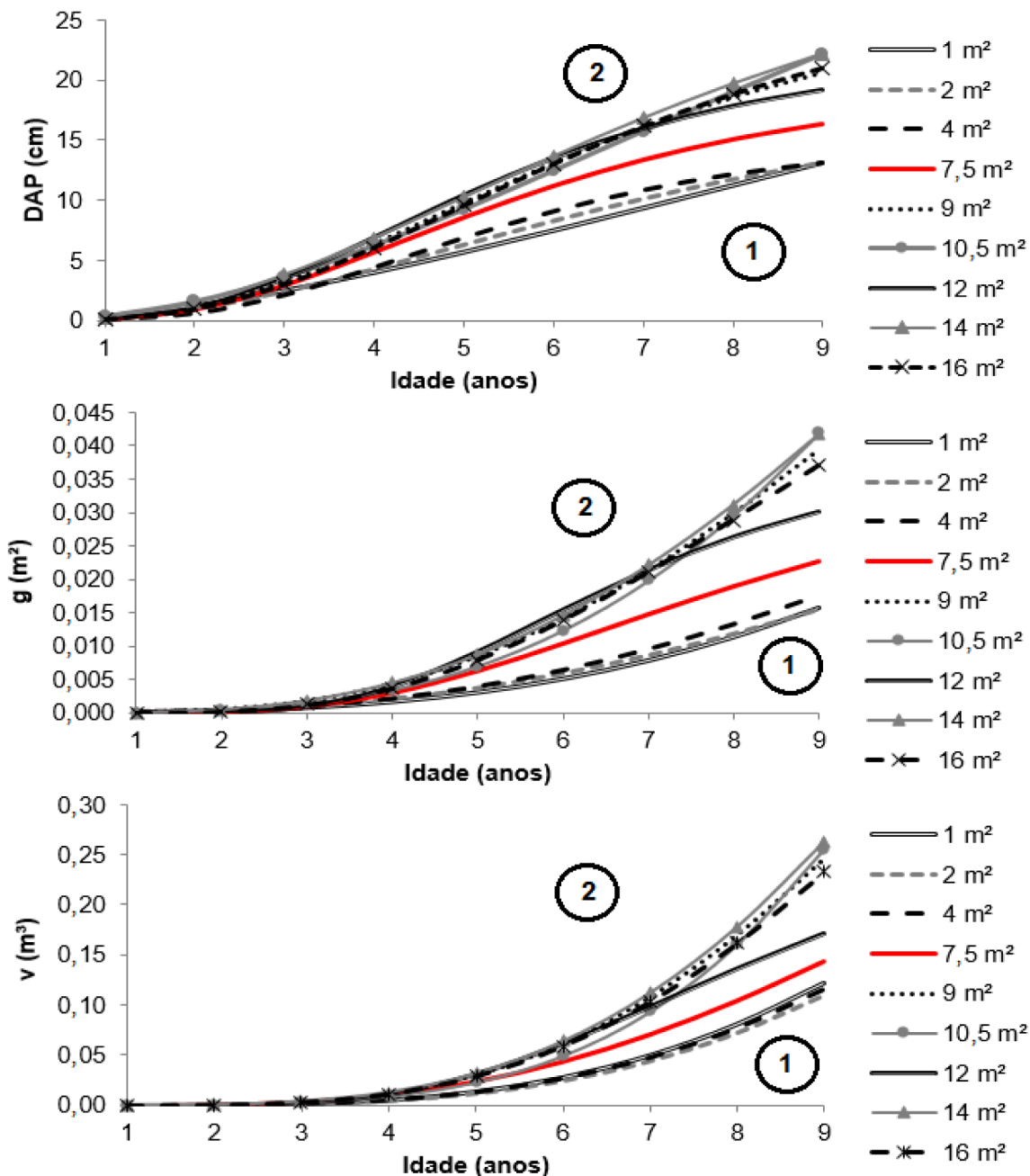


Figura 7. Curvas de produção para o diâmetro (DAP) área transversal (g) e volume destacando a curva para o espaçamento 7,5 m² que divide os tratamentos em dois grupos: 1. Regime de manejo pulpwood; 2: regime de manejo utility.

Figure 7. Yield curves for diameter (DBH), cross sectional area (g) and volume highlighting the curve for the 7.5 m² living spacing which divides into two treatment groups: 1. Management for pulpwood; 2. management regime for utility.

CONCLUSÕES

- As variáveis diâmetro (DAP), área transversal, volume individual, área basal e volume por hectare sofreram influência da densidade inicial a partir do quinto ano de idade;
- O espaçamento de 14 m² apresentou, nas várias idades analisadas, o maior crescimento para o DAP, área transversal, volume individual, enquanto que o espaçamento de 4 m² resultou nos menores crescimentos individuais;

- O espaçamento de 14 m² apresentou um crescimento médio em diâmetro (DAP) 37% maior do que o espaçamento de menor crescimento (4 m²);
- Para a altura média, não foi encontrada diferença estatística entre os tratamentos, demonstrando que essa variável é pouco influenciada pelo espaçamento, sendo a maior altura encontrada no espaçamento 14 m² aos 9 anos de idade, 11% superior ao espaçamento de menor crescimento (1 m²);

- A área basal (G) e o volume por hectare foram afetados pelo espaçamento e tiveram diferenças entre tratamentos a partir do quinto ano de idade, onde os espaçamentos de 1 e 2 m² apresentaram o maior crescimento para estas duas variáveis aos 9 anos;

- Os resultados indicam que o espaçamento de 7,5 m² divide os tratamentos em dois grupos, ou seja, espaçamentos menores (1 a 7,5 m²) em rotações curtas poderiam ser empregados para produzir biomassa, enquanto os maiores (7,5 a 16 m²) seriam mais indicados para gerar multi-produtos em rotações mais longas;

- Espaçamentos com cerca de 7,5 m² poderiam ser usados quando o proprietário ainda não tem certeza do destino final do produto, podendo portanto, optar pelo regime de manejo pulwood ou utility.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCE, J. E., KOEHLER, A., JASTER, C. B., SANQUETTA, C. R. *Florexel – Funções florestais desenvolvidas para o Microsoft Excel®*. Curitiba: Centro de Ciências Florestais e da Madeira – CCFM, UFPR. 2002. software (suplemento)
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais**. Piracicaba: IPEF, 1980. 16 p. (Série Técnica, v.1, n.3).
- BERENHAUSER, H. Espaçamento nos plantios de *Pinus elliottii* e *taeda*. *Floresta*, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 21-27, 1971.
- BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.
- CRECHI, E. H. **Efeitos da densidade da plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em Missiones, Argentina**. 1996. 173 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1996.
- ENCINAS, J. I.; SILVA, G. E.; PINTO, J. R. R. **Idade e Crescimento das Árvores**. Brasília: Universidade de Brasília, 2005. 43 p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.7, n.1).
- FINGER, C. A. G. **Biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, 2006, 239 p.
- JONES, E. P. **Slash pine plantation spacing study, age 30**. Atlanta, p. 45-49, 1987. (USDA. SRS-GTR, 121).
- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 603-612, 2006.
- LIMA R. **Crescimento de *Pinus taeda* L. em diferentes espaçamentos**. 2010. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste. Irati, 2010.
- MACHADO, S. A.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; TEO, S. J.; NASCIMENTO, R. G. M. Comparação de métodos para estimativa de altura total para cada idade em análise de tronco completa de *Pinus taeda*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 45-55, 2010.
- PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.
- SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MELLO, A. A.; SILVA, E. Q.; BARTH FILHO, N.; MATOSKI, S. L. S. Produção de madeira livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* L. em função da densidade de plantio. *Cerne*, Lavras, v. 9, n. 2, p. 129-140. 2003.
- SANQUETTA, C. R.; REZENDE, A. V.; GAIADA, R.; SCHAAF, L. B.; ZAMPIER, A. C.; ARCE, J. E. Produção de madeira para celulose em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes densidades de plantio e regimes de desbaste. *Cerne*, Lavras, v. 10, n. 2, p. 154-166, 2004.
- SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Determinação de regimes de desbaste para povoamentos de *Pinus elliottii* do planalto ocidental no Estado de Santa Catarina. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 43-59, 1994.
- SCOLFORO J. R. S. **Modelagem e crescimento e produção de florestas plantadas e nativas**: Biometria Florestal. Lavras, UFPA/FAEPE, 1998, 443 p.
- STURGES, H. A. The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, v. 21, n. 153, p. 65-66, 1926.

Recebido em 26/03/2014

Aceito para publicação em 09/02/2015

