

CRESCIMENTO DE *Eucalyptus grandis* EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS¹

Fernando Palha Leite², Nairam Félix de Barros³, Roberto Ferreira de Novais³,
Luíz Marcelo A. Sans⁴ e Antônio Sérgio Fabres⁵

RESUMO - Em experimento realizado na região de Santa Bárbara-MG, avaliou-se o efeito da densidade populacional sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis*. Foram testadas sete densidades populacionais, variando de 500 a 5.000 plantas por hectare. As avaliações foram feitas entre agosto de 1994 e abril de 1995, quando as plantas tinham 31 e 39 meses, determinando-se a circunferência a 1,3 m de altura (CAP), a altura, a biomassa dos componentes da parte aérea de árvores médias de cada parcela, a profundidade de copa (PC), a área foliar por planta (AFPL), a área foliar específica (AFE), o índice de área foliar (IAF) e as taxas de incremento de CAP ao longo do ano. A produção de biomassa (por área) de todos os componentes da parte aérea, aos 31 meses, e da manta orgânica apresentou relação linear decrescente com o aumento da área útil inicial disponível para cada planta (AUD). O IAF, a relação peso de lenho-peso de folha e a proporção de lenho na biomassa total também foram reduzidos com o aumento da AUD. Todavia, a profundidade de copa, a área foliar por planta e a proporção de folhas na biomassa total aumentaram com o acréscimo da AUD.

Palavras-chave: *Eucalyptus grandis*, densidade populacional e crescimento.

INFLUENCE OF POPULATION DENSITY ON *Eucalyptus grandis* GROWTH

ABSTRACT - This experiment was carried out in the region of Santa Barbara, MG, Brazil, evaluating the effect of population density on *Eucalyptus grandis* growth. The plant density varied from 500 to 5000 trees ha⁻¹. The assessments were performed between August 1994 and April 1995 when the trees were 31 and 39 month-old, and consisted in measuring circumference breast height (CAP), height, biomass of average tree above-ground components in each plot, crown depth (PC), leaf area per tree (AFPL), specif leaf area (AFE), leaf area index (IAF), and rate of circumference growth along the year. At the age of 31 months, all components of the above ground biomass production (per area) as well as the litter layer showed showed a linear decrease in relation to the increment of the initial effective area available for each plant (AUD). Its increase also reduced the IAF, the stem wood-weight to leaf-weight relation and the stem wood proportion to the total biomass. On the other hand, the leaf proportion to the total biomass increased along with the increment of the AUD.

Key words: *Eucalyptus grandis*, population density, growth.

¹ Recebido para publicação em 20.5.1996.

Aceito para publicação em 25.9.1997.

² R. Ouro, 35, Iguaçú, 35162-103 Ipatinga-MG. ³ Dep. de Solos da UFV, 36571-000 Viçosa-MG. ⁴ EMBRAPA-CNPMS, 35701-970 Sete Lagoas-MG. ⁵ CENIBRA Florestal, 35101-970 Ipatinga-MG.

1. INTRODUÇÃO

As variações na taxa de assimilação de carbono e, também, no balanço de investimento de assimilados em biomassa da parte aérea e de raízes podem depender do grau de limitação de fatores como água, nutrientes e radiação (SANDS e MULLIGAN, 1990; ADLARD et al., 1992). Essas limitações podem ser manejadas, dentre outras técnicas, variando-se a população de plantas de acordo com as restrições observadas em cada ambiente.

A variação na densidade populacional de plantas de eucalipto normalmente afeta a quantidade de biomassa obtida por unidade de tempo e a qualidade do produto final. Espera-se que nas maiores densidades populacionais, em razão do aproveitamento inicial da maior quantidade de recursos (água, nutrientes e radiação) por unidade de área, em um menor intervalo de tempo, a quantidade inicial de biomassa produzida por área seja maior. Entretanto, ao longo do ciclo de cultivo, as diferenças entre populações com diferentes densidades devem ser minimizadas.

As espécies de eucalipto têm comportamento típico de plantas pioneiras e, dentro de certos limites, algumas mostram maior resposta em crescimento à abertura de espaçamento do que outras (KAGEYAMA, 1980). Até a idade em que o sítio não esteja completamente ocupado, o espaçamento vai afetar a produção volumétrica. Com o aumento da idade ocorre a ocupação plena do sítio e a produção em volume tende a igualar-se, independentemente do espaçamento inicial (GORGULHO, 1990). COETZEE (1991), comparando o efeito da população de plantas, em um sítio de boa com outro de pior qualidade, encontrou, dentro dos limites avaliados (830 a 2.222 árvores por ha), relação linear crescente entre a área basal e o volume com densidade do povoamento no sítio pobre. Para o melhor sítio, os resultados evidenciaram que, dois anos após o plantio, a relação linear mudou para curvilínea.

O conhecimento de certas características relacionadas à arquitetura da copa das árvores, como

profundidade de copa (PC), área foliar por planta (AFPL), área foliar específica (AFE) e índice de área foliar (IAF), pode indicar como as plantas estão respondendo às condições ambientais a que estão expostas. Para BARTHELEMY et al. (1991), a arquitetura da copa, em um dado momento, é a expressão de um equilíbrio entre processos endógenos de crescimento e restrições exógenas, exercidas pelo ambiente.

A finalidade deste experimento foi identificar as relações entre a densidade populacional e, ou, a área útil inicial disponível por plantas com o crescimento e a radiação interceptada e, também, quantificar outras características da biomassa da parte aérea de plantas de *Eucalyptus grandis*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido em área experimental da CENIBRA Florestal, no município de Santa Bárbara-MG, situado, aproximadamente, nas seguintes coordenadas geográficas: 19° 57' latitude sul e 43° 24' longitude oeste. A altitude média da área do experimento é de 740 m. O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo álico, textura franco-argilo-arenosa.

O *Eucalyptus grandis* (procedência Coffs Harbour) foi plantado em dezembro de 1991. As densidades populacionais estudadas foram: 500, 625, 833, 1.250, 1.666, 2.500 e 5.000 plantas por hectare, correspondentes aos espaçamentos de 4 x 5, 4 x 4, 4 x 3, 4 x 2, 3 x 2, 2 x 2 e 2 x 1 m. Cada tratamento foi avaliado em três repetições, em delineamento de blocos ao acaso. Cada parcela apresenta uma área total de 500 m².

A quantificação da produção e da distribuição da biomassa da parte aérea foi feita mediante o uso de uma árvore em cada parcela. A árvore selecionada e avaliada apresentava CAP (circunferência à altura de 1,3 m) e altura total mais próximas da média das árvores da área útil de cada parcela. Em cada parcela, a árvore selecionada foi abatida e seus componentes foram pesados e amostrados, para determinação de umidade.

Da árvore selecionada, determinou-se, também, a profundidade de copa (PC), que é definida como a distância entre o topo do fuste principal e a inserção do primeiro galho vivo.

A área foliar foi determinada a partir de uma amostra de 120 g de folhas, coletadas após homogeneização rigorosa de toda a folhagem, no momento da quantificação da biomassa da árvore selecionada. Essas amostras foram acondicionadas em geladeira e, posteriormente, a área foliar determinada por um medidor de área (Delta-T). Relacionando a área medida dessa amostra com o peso total da folhagem verde, determinou-se a área foliar da árvore selecionada em cada parcela (AFPL). A relação entre as áreas dessas amostras e o seu peso seco correspondeu à área foliar específica (AFE).

A medição da CAP foi feita a cada dois meses, em 30 árvores centrais de cada parcela (com exceção do tratamento referente à densidade populacional de 500 plantas por hectare, onde a determinação foi feita em 25 árvores). A medição da altura total foi feita no início e no final do período de avaliação do experimento, quando o povoamento estava com 31 e 39 meses de idade.

A produção volumétrica foi estimada a partir da cubagem da árvore selecionada em cada parcela (VC) e também pela equação de regressão ajustada (pelos técnicos da empresa proprietária da área experimental), em função da altura total e do diâmetro a 1,3 m de altura (DAP), para os povoamentos da região em estudo (VE).

Determinou-se a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFF) com o fotômetro modelo DataLogger LI 1.000, utilizando o sensor Quantum. Essa avaliação foi feita no período do dia em que o sol estava "mais alto" (mais próximo do zênite), em dia não-nublado. As leituras foram tomadas em 18 pontos dentro de cada parcela, sendo seis na linha, seis na entrelinha e seis na faixa central da diagonal entre duas árvores; os pontos de leitura em cada seqüência de seis ficaram distanciados 20 cm. Também foi feita uma medição em uma área a pleno sol, próximo do local do experimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características Dendrométricas

O diâmetro médio das árvores, aos 31 e 39 meses de idade (Quadro 1), foi crescente com o aumento do espaçamento. Resultados semelhantes foram observados por outros autores (PEREIRA, 1990; GORGULHO, 1990; GOMES, 1994; BERNARDO, 1995; LELES, 1995). Já a altura média das plantas, nos diferentes espaçamentos, não mostrou tendência definida de variação (Quadro 1). BALLONI e SIMÕES (1980) relataram que os resultados encontrados na literatura não apresentam tendências consistentes quanto ao efeito do espaçamento no crescimento em altura.

Os incrementos periódicos de CAP foram crescentes com o aumento do espaçamento, em todos os quatro períodos avaliados (Quadro 2). Esses períodos representaram épocas com diferentes disponibilidades de água no solo. As diferenças percentuais de incremento entre o período em que foram verificados os maiores acréscimos de CAP (20/12 a 15/2), no qual existia 7,6% de água disponível no solo, e o período em que ocorreram os menores (14/10 a 20/12) (solo contendo 4,8% de água disponível) evidenciam que o acréscimo médio verificado em plantas estabelecidas nos três menores espaçamentos (32,5%) foi bem inferior ao acréscimo médio verificado nas plantas estabelecidas nos três maiores espaçamentos (82,6%). Tais resultados evidenciam que as plantas estabelecidas nos maiores espaçamentos apresentaram maiores respostas em crescimento volumétrico ao acréscimo de água disponível do que as estabelecidas nos menores espaçamentos.

3.2. Produção volumétrica

À idade de 31 meses, a relação entre o volume total de madeira (VCT) e a área útil inicial disponível por planta (AUD) foi linear decrescente (Quadro 3). Entretanto, quando se consideram somente árvores com DAP maior ou igual a 8 cm,

a produção volumétrica (VC8) em função da AUD passa a ser mais bem representada por uma equação de base raiz quadrática com ponto de máximo (Quadro 3). Apesar da idade relativamente jovem do povoamento (31 meses), este comportamento pode vir a indicar a tendência de comportamento semelhante em idades mais avançadas. A diferença entre os valores de produção volumétrica determinados mediante o uso dessas

duas equações (VCT e VC8), para os diferentes valores de AUD, foi decrescente com o aumento da AUD, o que evidencia que a proporção de madeira utilizável na indústria de celulose (diâmetro mínimo de 8 cm para o descasque mecânico), em relação à produção total, aumenta com o aumento da AUD, a despeito de a produção total, ainda, ser maior nas parcelas com plantas com menor AUD.

Quadro 1 - Características de crescimento de *Eucaliptus grandis*, aos 31 e 39 meses de idade, em diferentes espaçamentos

Table 1 - Growth characteristics of *Eucaliptus grandis*, at 31 and 39 months of age in different spacings

Espaçamento	Idade de 31 meses			Idade de 39 meses		
	DAP	Altura	Volume	DAP	Altura	Volume
m	cm	m	m ³ ha ⁻¹	cm	m	m ³ ha ⁻¹
4 x 5	12,3	14,3	34,8	14,7	17,9	62,5
4 x 4	13,0	15,2	49,9	14,9	19,0	82,8
4 x 3	12,4	15,0	58,9	14,2	18,4	95,8
4 x 2	11,5	14,3	70,4	13,3	17,7	117,9
3 x 2	10,4	14,9	88,8	11,7	17,4	132,0
2 x 2	10,0	14,8	111,5	11,3	17,3	162,6
2 x 1	8,2	13,0	118,9	9,0	15,5	172,9

DAP = diâmetro a 1,3 m de altura.

Quadro 2 - Incrementos periódicos da circunferência à altura de 1,3 m (CAP) de *Eucalyptus grandis*, sob diferentes espaçamentos, em quatro períodos, a partir de 31 meses de idade

Table 2 - Periodic circumference increment, (height 1,3 m), of *Eucalyptus grandis* in different plant density, beginning the sequence of 4 measurements at the age of 31 months

Espaçamento m	Período			
	I	II	III	IV
	----- mm/dia -----			
4 x 5	0,250	0,192	0,384	0,341
4 x 4	0,211	0,158	0,295	0,243
4 x 3	0,186	0,170	0,274	0,239
4 x 2	0,171	0,165	0,219	0,205
3 x 2	0,148	0,139	0,177	0,162
2 x 2	0,098	0,125	0,160	0,112
2 x 1	0,088	0,092	0,131	0,121
Média	0,164	0,150	0,234	0,203

Períodos: I - 12/08 a 14/10/94, II - 14/10 a 20/12/94, III - 20/12/94 a 15/02/95 e IV - 15/2 a 11/4/95.

Quadro 3 - Equações de regressão relacionando características de crescimento e área útil inicial disponível por planta (AUD) em *Eucalyptus grandis*

Table 3 - Regression equations relating growth characteristics of *Eucalyptus grandis* to initial effective area available per plant (AUD)

Equações	R ²
$\hat{F}^1 = 4,730 - 0,1044 \text{ AUD}$	0,765
$\hat{L} = 47,462 - 1,8019 \text{ AUD}$	0,879
$\hat{C} = 6,023 - 0,2085 \text{ AUD}$	0,837
$\hat{G} = 7,483 - 0,2143 \text{ AUD}$	0,831
$\text{TR}\hat{R} = 53,510 - 2,0157 \text{ AUD}$	0,881
$\text{BT}\hat{T} = 65,685 - 2,3290 \text{ AUD}$	0,908
$\hat{M} = 8,283 - 0,2296 \text{ AUD}$	0,914
$\text{V}\hat{\text{C}}\text{T}^2 = 149,381 - 5,7070 \text{ AUD}$	0,871
$\text{V}\hat{\text{C}}8 = 43,035 + 41,200 \text{ AUD}^{1/2} - 9,609 \text{ AUD}$	0,646
$\text{V}\hat{\text{E}}31 = 138,170 - 9,2230 \text{ AUD} + 0,209 \text{ AUD}^2$	0,963
$\text{V}\hat{\text{E}}39 = 195,421 - 11,0240 \text{ AUD} + 0,226 \text{ AUD}^2$	0,978

¹ Matéria seca (t/ha) de : folhas (F), casca (C), lenho (L), galho (G), tronco (TR), total da parte aérea (BT) e manta orgânica (M).

² Volume (m³/ha): total (VCT), de árvores com DAP ≥ 8 cm (VC8); e para a idade de 31 (VE31) e 39 meses (VE39), estimado por equação volumétrica (em função do DAP e da altura total).

A relação entre a produção volumétrica e a AUD, aos 31 (VE31) e 39 (VE39) meses, foi similar, o que sugere não ter havido mudanças no ritmo de crescimento volumétrico entre essas idades (Quadros 3). Contudo, os coeficientes da variável AUD indicam que, na idade de 39 meses, houve menores ganhos percentuais de produção com a redução da AUD do que aos 31 meses. Comparando os valores médios da produção volumétrica (Quadro 1), observa-se que a produção média das parcelas dos três maiores espaçamentos, aos 31 meses, correspondeu a 44,9% da média das parcelas referentes aos três menores espaçamentos; já aos 39 meses essa mesma correspondência foi de 51,5%, o que indica que houve uma redução da diferença de crescimento entre essas duas situações, com passar do tempo

(31 para 39 meses).

3.3. Acúmulo e Distribuição da Biomassa da Parte Aérea

A relação entre a produção de matéria seca de cada componente da parte aérea da planta ou da manta orgânica por área e a AUD foi mais bem descrita por equações lineares decrescentes (Quadro 3), evidenciando a redução na produção da biomassa por área, com a redução da densidade populacional.

A relação entre matéria seca da biomassa total da parte aérea e de folhas (BT/F) apresentou valores crescentes com a redução da AUD (Quadro 4), o que evidencia que nas situações de menor área disponível a eficiência dessas folhas

na produção de biomassa da parte aérea foi maior. Esse índice de eficiência, BT/F, seria mais exato se tivesse sido considerado o total de folhas acumulado produzidas até a época da avaliação, e não somente a quantidade de folhas existentes em uma única época. Resultados semelhantes foram obtidos por BERNARDO (1995), para *E. urophylla* e *E. pellita*, embora os valores de eficiência foliar por ele obtidos tenham sido menores que os encontrados neste trabalho.

A distribuição da biomassa entre os componentes da parte aérea da planta (Quadro 4), na média dos tratamentos avaliados, foi: 9,2% em folhas, 13,1% em galho, 9,3% em casca e 68,4% em lenho. Quase 70% da biomassa produzida pode ser utilizada na indústria, o que representa um elevado índice de colheita.

Efeitos mais expressivos da AUD na alocação de carbono ocorreram nas folhas e no lenho (Quadro 4). Verificou-se redução na contribuição das folhas para a biomassa total da parte aérea, com a redução do espaçamento, e o inverso, em relação à contribuição do lenho. Para biomassa de galho e de casca não se observou tendência defi-

nida na variação da distribuição destes componentes, em função da variação do espaçamento.

3.4. Outras Características Avaliadas

A profundidade de copa e a área foliar por planta aumentaram com o aumento do espaçamento (Quadros 5 e 6). A copa das árvores nos espaçamentos mais amplos é mais bem distribuída ao longo do tronco, em razão de a desrama dos galhos inferiores ser mais tardia. Este retardamento pode ser um reflexo da arquitetura da copa e do não-fechamento do dossel, o que permite maior exposição das folhas da base da copa a uma quantidade de radiação superior àquela correspondente a seu ponto de compensação luminoso. Com isso, nessas folhas, existirá um balanço positivo de fotoassimilados por mais tempo.

As variações dos valores de área foliar específica (AFE), em função da AUD, apesar de não apresentarem um comportamento muito bem definido, tenderam a reduzir-se em menores densidades (Quadro 5).

Quadro 4 - Peso dos componentes secos da parte aérea de árvores de *Eucalyptus grandis*, com a respectiva distribuição relativa entre eles, em diferentes espaçamentos

Table 4 - Dry matter weight and relative distribution of above-ground components of *Eucalyptus grandis* according to varied spacings

Espaçamento m	F	G	C	L	M	BT/F	PF	PG	PC	PL
	t/ha						%			
4 X 5	2,61	3,95	1,94	13,17	3,71	8,3	12,0	18,2	8,9	60,7
4 X 4	2,76	3,65	2,77	19,21	4,31	10,3	9,7	12,8	9,8	67,6
4 X 3	3,75	4,41	3,68	25,56	5,58	9,9	10,1	11,1	9,9	68,8
4 X 2	4,18	5,58	3,25	27,46	6,52	9,7	10,3	13,8	8,0	67,7
3 X 2	3,98	6,61	5,01	32,41	6,53	12,1	8,2	13,7	10,4	67,5
2 X 2	4,72	6,28	5,85	46,62	8,06	13,5	7,4	9,9	9,2	73,5
2 X 1	4,01	7,60	5,48	45,19	7,36	15,5	6,4	12,2	8,8	72,5

F = folhas; G = galhos, C = casca, L = lenho; M = manta orgânica, BT/F relação matéria seca da biomassa total da parte aérea com matéria seca de folhas, PF = contribuição percentual de folhas, PG de galhos, PC de casca e PL de lenho na composição da biomassa total da parte aérea.

Quadro 5 - Características à copa de *Eucalyptus grandis*, cultivado em diferentes espaçamentos**Table 5** - Characteristics related of *Eucalyptus grandis* crown in different spacings cultivations

Espaçamento	PC	IAF	AFE	AFPL	DFF-I
m	m	m ² /m ²	dm ² /g	m ²	μmol s ⁻¹ m ⁻²
4 x 5	10,2	1,95	0,83	47,2	997
4 x 4	10,1	1,87	0,84	40,0	1149
4 x 3	10,6	2,41	0,78	39,2	1235
4 x 2	9,5	3,13	0,89	35,3	1252
3 x 2	8,0	3,43	0,93	26,8	1296
2 x 2	7,4	3,14	0,80	18,1	1438
2 x 1	6,0	3,45	1,04	11,2	1445

PC = profundidade de copa, IAF = índice de área foliar, AFE = área foliar específica, AFPL = área foliar por planta e DFF-I = densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos interceptados.

Quadro 6 - Equações de regressão da profundidade de copa (PC), índice de área foliar (IAF) e área foliar por planta (AFPL) em função da área útil inicial disponível por planta (AUD), em m², para *Eucalyptus grandis***Table 6** - Regression equations relating crown depth (PC), leaf area index (IAF) and leaf area per tree (AFPL) to the initial effective area available per tree (AUD) in m² for *Eucalyptus grandis*

Equações	R ²
$\hat{PC}^1 = 4,440 + 0,8040 \text{ AUD} - 0,026 \text{ AUD}^2$	0,947
$\hat{IAF} = 3,717 - 0,0977 \text{ AUD}$	0,869
$\hat{AFPL} = 13,273 + 1,8380 \text{ AUD}$	0,845

¹ PC em (m), IAF(m²/m²) e AFPL (m²).

O índice de área foliar (IAF) é uma característica do povoamento que tem apresentado correlações positivas com a biomassa produzida (KOZLOWSKI et al., 1991). Nas situações avaliadas, o IAF relacionou-se de forma linear decrescente com a AUD (Quadro 6). Os valores de IAF encontrados neste trabalho (Quadro 5), em média, são superiores aos encontrados para florestas naturais de eucalipto em regiões áridas do sudoeste da Austrália (1,5 a 1,9), por Anderson (1981), citado por KOZLOWSKI et al. (1991), e para *E. camaldulensis* e *E. tereticornis*, com dois anos de idade, na Índia, que foi de 2,2 (ROBERTS et al., 1992).

A correlação entre as várias características da

copa e a produção de biomassa e radiação interceptada é significativa (Quadro 7), o que sugere que as características relacionadas à copa das árvores definem o crescimento das plantas. Muitas das variações na produção de biomassa de povoamentos florestais acontecem por causa das variações na interceptação de luz (KOZLOWSKI et al., 1991), que é dependente do IAF (ALLEN et al., 1996) (Quadro 7). Assim, a identificação de fatores que afetam o IAF e a magnitude de seus efeitos são importantes na seleção de práticas de manejo que visem a manutenção do IAF em condições de propiciar a interceptação mais eficiente possível de luz, levando a maiores taxas de crescimento.

Quadro 7 - Coeficientes de correlação linear simples entre matéria de folhas secas (F), índice de área foliar (IAF), área foliar por planta (AFPL) e profundidade de copa (PC) e matéria seca total da parte aérea (BT), matéria seca de lenho (L) e radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RI), em povoamento de *E. grandis* em sete densidades populacionais

Table 7 - Simple correlation coefficients between leaf dry matter (F), leaf area index (IAF), leaf area per tree (AFPL), crown depth (PC) and total above-ground biomass (BT), stem wood dry matter (L) and photosynthetically active intercepted radiation (RI) of *Eucalyptus grandis* stands in seven population densities

	BT	L	RI
F	0,870**	0,860**	0,875**
IAF	0,862**	0,828*	0,828*
AFPL	-0,971**	-0,970**	-0,936**
PC	-0,893**	-0,885**	-0,811*

* e ** significativo em nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

A relação entre a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFP) interceptada e a AUD foi linear e decrescente ($DFP = 1491,70 - 24,411**AUD$ $R^2 = 0,918$), ou seja, à medida que se aumentou a AUD (menor densidade populacional), a quantidade total de radiação interceptada decresceu. A quantidade de radiação interceptada por área foi maior nos povoamentos de maior densidade. Com isso, maiores produções também devem ser obtidas até a idade em que a saturação do IAF for atingida. A quantidade de radiação interceptada por área apresentou correlações significativas e positivas com a produção volumétrica de madeira ($r = 0,967**$) e com a produção total de biomassa da parte aérea ($r = 0,976**$).

4. CONCLUSÕES

- Os aumentos na densidade populacional proporcionaram incrementos de forma linear na produção de biomassa por área de todos os componentes da parte aérea e reduções no crescimento individual das plantas.
- O efeito negativo da redução da densidade populacional sobre a produtividade da floresta tendeu a diminuir com a idade da floresta (entre 31 e 39 meses).

- Os plantios menos densos responderam mais (em crescimento) ao aumento de água disponível que os mais adensados.
- O aumento da densidade de plantas afetou a alocação de carbono no povoamento, com maior proporção de fotoassimilados alocados no tronco em populações mais densas e na copa nas menos densas.
- O maior IAF nas populações mais densas permitiu maior interceptação de radiação, com conseqüente maior conversão de biomassa por área.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLARD, P.G., KARIYAPPA, G.S., SRINIVASALU, N.V. Spacing at planting of short-rotation *Eucalyptus* in Karnataka. In: CALDER, I.R., HALL, R.L., ADLARD, P.J. Eds. **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: John Wiley & Sons, 1992. p.103-127.
- ALLEN, H.L., ALBAUGH, T.J., DOUGHERTY, P.M. The influence of nutrient and water availability on leaf area and productivity: a case study with Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.) in the Southeast U.S. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1996, Viçosa. **Anais...** Campinas: SBCS. (no prelo).

- BALLONI, E.A., SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF - Série Técnica Piracicaba**, v.1, p.1-16, 1980.
- BARTHELEMY, D., EDELIN, C., HALLÉ, F. Canopy architecture. In: RAGHAVENDRA, A.S. (Ed.). **Physiology of trees**. New York: John Wiley & Sons, 1991. P.51-86
- BERNARDO, A.L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1995. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- COETZEE, J. The influence of stand density on the yield of *Eucalyptus grandis*: a comparison between a good site and a poor site at age 4 years. In: SCHÖNAU, A.P.G. (Ed.) **Symposium on Intensive Forestry: the role of *Eucalyptus***, Durban: Southern African Institute of Forestry, 1991. p.901-915.
- GOMES, R.T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1994. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- GORGULHO, E.P. **Avaliação de progênies de *Eucalyptus pyrocarpa* L. Jonhson & Blaxell, em diferentes espaçamentos de plantio**. Lavras: ESAL, 1990, 71p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1990.
- KAGEYAMA, P.Y. **Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. Piracicaba: ESALQ, 1980, 125p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) Escola Superior de Agricultura "Luíz de Queiroz", 1980.
- KOZLOWSKI, T.T., KRAMER, P.J., PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 1991. 657p.
- LELES, P.S.S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos**. Viçosa: UFV, 1995. 133p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal de Viçosa, 1995.
- PEREIRA, A.R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em regiões de cerrado**. Viçosa: UFV, 1990. 167p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, - Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- ROBERTS, J.M., ROSIER, P.T.W., SRINIVASA MURTHY, K.V. Physiological studies in young *Eucalyptus* stands in southern Índia and their use in estimating forest transpiration. In: CALDER, I. R., HALL, R. L., ADLARD, P. J. (Eds.). **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: John Wiley & Sons, 1992. p.226-243.
- SANDS, R., MULLIGAN, D.R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.30, p.91-111, 1990.