

Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*Effect of age and site on the basic density and dry mass of wood from a clone of *Eucalyptus urophylla*Vivian Amaral Meneses¹, Paulo Fernando Trugilho², Natalino Calegario² e Helio Garcia Leite³**Resumo**

Objetivou-se avaliar o efeito da idade e do sítio sobre a densidade básica da madeira e a produção de massa seca. Utilizou-se o clone de um híbrido do *Eucalyptus urophylla* (GG 100), nas idades de quatro, cinco, seis, sete, oito e nove anos, proveniente de áreas de propriedade da Gerdau Florestal S.A., nos seguintes locais (macrossítios): João Pinheiro, Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias, no Estado de Minas Gerais, Brasil. Dentro de cada local, foram selecionadas cinco árvores por sublocal (microsítio), totalizando em 485 árvores. Retiraram-se discos a 2%, 10%, 30%, 50% e 70% da altura comercial e um disco extra na região do DAP. A densidade básica foi determinada de acordo com a norma NBR 11941 da ABNT (2003). O incremento médio anual em massa seca foi obtido multiplicando-se o incremento médio anual volumétrico (IMA) pela densidade básica a 1,30 m de altura ou pela densidade básica média. Os resultados indicaram efeito significativo da interação local x idade na densidade básica e nas características de crescimento. O local que apresentou melhor índice pluviométrico e melhor crescimento das árvores, Sul de Minas, influenciou negativamente o valor da densidade básica e positivamente a produção de massa seca do clone GG 100.

Palavras-chave: eucalipto, qualidade da madeira, biomassa.

Abstract

This study aimed to evaluate the age and site effects on wood basic density and dry mass production. One hybrid clone of *Eucalyptus urophylla* (GG 100) was used in the ages of four, five, six, seven, eight and nine years, from areas owned by Gerdau Florestal S.A. Company at the following locations (macro-sites): João Pinheiro, Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Southern Minas Gerais and Três Marias, in Minas Gerais State, Brazil. Within each location, five trees were selected by subsampling (micro-sites), totaling 485 sampled trees. Discs were removed at 2%, 10%, 30%, 50% and 70% of the commercial height and one extra at DBH position. The basic density was determined according to NBR 11941 of ABNT (2003). The mean annual increment in dry mass was obtained by multiplying the average annual volume increment (MAI) with the basic density at 1.30 m height or the mean basic density. The results showed a significant effect of interaction between site and age in basic density and tree growth characteristics. The location that showed the best rainfall and the best growth of trees, Southern Minas Gerais, negatively affected the value basic density and positively the dry mass production of clone GG 100.

Keywords: *Eucalyptus*, wood quality, biomass.

INTRODUÇÃO

A densidade básica é uma das propriedades mais relevantes da madeira, sendo considerada como um excelente índice de qualidade. Para fins práticos, a densidade básica pode ser indicadora do uso final de produtos madeireiros. A partir de sua determinação, é possível indicar a produtividade florestal por meio da estimativa de massa seca por área, sendo importante em

termos de transporte e armazenamento (SILVA, 1984, citado por TRUGILHO et al., 1990).

A estimativa da massa seca pode ser utilizada por diversas empresas do setor florestal com a finalidade de prever a quantidade de produtos a ser gerada, por material genético e por área (TRUGILHO, 2009).

No entanto, a densidade básica e a massa seca podem ter seus valores modificados por fatores como idade e sítio. A densidade básica,

¹Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira. UFPA - Universidade Federal de Lavras - Departamento de Ciências Florestais. Caixa Postal 3037 - 37200-000, Lavras, MG. E-mail: vivianmaral@gmail.com

²Professor Doutor. UFPA - Universidade Federal de Lavras - Departamento de Ciências Florestais. Caixa Postal: 3037 - 37200-000, Lavras, MG. E-mail: trugilho@dcf.ufpa.br; calegari@dcf.ufpa.

³Professor Doutor. UFV - Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Florestal. Caixa Postal: 3657 - 36570-000 - Viçosa, MG. E-mail: hgleite@gmail.com.

geralmente, eleva-se com o aumento da idade. Alguns estudos reportam esta tendência, dentre eles citam-se os trabalhos de Kumar et al. (2011) e Neves et al. (2013). O incremento da densidade básica com o aumento da idade ocorre em função do aumento da espessura da parede celular e da redução da frequência dos elementos de vasos, ao passo que é formado o lenho tardio (SETTE JUNIOR. et al., 2012).

Conforme Spurr e Barnes (1980), sítio é a soma de fatores ambientais, bióticos e edáficos que circundam as árvores em uma área florestal. Segundo Clutter et al. (1983), a qualidade do sítio, ou capacidade produtiva do sítio, é definida como o potencial de produção de madeira para uma espécie em particular ou determinado tipo de formação florestal. Fatores climáticos e edáficos, como disponibilidade hídrica e de nutrientes, propriedades físicas e químicas do solo, podem afetar a capacidade produtiva e o crescimento das árvores.

A capacidade produtiva do sítio é uma das causas das variações na formação da madeira e, conseqüentemente, na densidade básica. Alguns trabalhos presentes na literatura são divergentes em relação ao incremento da densidade básica quanto à capacidade produtiva do sítio. Alguns trabalhos indicaram que a densidade básica média das árvores, na mesma idade, apresenta a tendência de ser maior em local de pior qualidade, como verificado por Raymond e Muneri (2001), em trabalho com as espécies de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens*, aos cinco, sete e nove anos. Por sua vez, outras pesquisas verificaram que, em sítio de melhor qualidade, a densidade básica foi maior, conforme registrado por Quilhó e Pereira (2001), estudando a madeira de *E. globulus*, aos 15 anos. Para Vital (1984), elevados incrementos na taxa de crescimento originados por alterações no clima ou índice de sítio podem causar reduções na densidade básica.

É imprescindível pesquisas sobre a variação da densidade básica e a produção de massa seca em diferentes idades e sítios com a madeira do *Eucalyptus urophylla* e híbridos em virtude do amplo uso no setor energético. Essa espécie, que se adapta às diversas condições ambientais, é também matéria-prima para a produção de celulose e papel e de chapas de fibras. Portanto, estudos sobre essa variação, com a madeira do *E. urophylla*, podem trazer contribuições para o setor energético, uma vez que a densidade básica e a produção de massa seca são um dos parâmetros que influenciam na qualidade e na pro-

dução do carvão vegetal, respectivamente. Além disso, os locais produtivos e a relação entre a produtividade e a idade da floresta podem ser identificados. Isso permitirá obter a informação sobre a madeira de melhor qualidade e auxiliar na tomada de decisão a respeito da necessidade de possíveis intervenções nos povoamentos.

Nesse contexto, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da idade e do sítio na densidade básica da madeira e na produção de massa seca de um clone de híbrido do *E. urophylla*.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado o clone GG 100, híbrido natural obtido a partir do cruzamento do *E. urophylla*, aos quatro, cinco, seis, sete, oito e nove anos, proveniente de áreas de plantio comercial pertencentes ao grupo Gerdau Florestal S.A. As árvores foram oriundas de cinco locais (macrossítios): João Pinheiro, Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias, localizados no Estado de Minas Gerais, Brasil. As informações quanto à localização e as características edafoclimáticas dos locais selecionados estão na Tabela 1.

Dentro de cada local, foram selecionadas cinco árvores por sublocal (microsítio), que se diferenciou entre a fazenda onde o plantio está inserido, o número do talhão e o número da parcela, totalizando em 485 árvores selecionadas para a amostragem (Tabela 2).

O volume total individual das árvores, fornecido pela Gerdau Florestal S.A., foi quantificado pelo produto do fator de forma, da altura total e da área seccional a 1,30 m. O incremento médio anual volumétrico (IMA) foi obtido a partir da razão entre volume e idade.

A amostragem longitudinal consistiu na remoção de discos de 2,5 cm de espessura a 2%, 10%, 30%, 50% e 70% da altura comercial, conforme a recomendação de Downes et al. (1997). Foi retirado também um disco extra na altura correspondente a 1,30 m de altura.

Para a determinação da densidade básica, foram utilizadas duas cunhas opostas de cada disco, sendo determinada pelo método de imersão em água, em conformidade com a norma NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003). A densidade básica média da árvore foi considerada como a média aritmética dos valores de densidades obtidos em cada posição de amostragem longitudinal, desconsiderando a posição do DAP.

Tabela 1. Características dos locais selecionados*.**Table 1.** Characteristics of selected locations.

Local	Localização	Mesorregião**	Solo	Clima***	Temp.	Ppt.	Alt.
João Pinheiro	17°18'45"S 46°11'15"O	Norte de Minas, Noroeste de Minas	Latossolo vermelho- amarelo e neossolos	Aw	23	1190	644
Montes Claros	17°48'26"S 43°26'51"O	Norte de Minas, Jequitinhonha	Latossolos e podzólicos	Aw	23	1355	983
Rio Pardo de Minas	15°37'30"S 42°35'13"O	Norte de Minas	Latossolo vermelho- amarelo álico a distrófico	Aw e Cwb	23	847	853
Sul de Minas	20°56'15"S 45°18'45"O	Campo das Vertentes, Oeste de Minas, Sul/Sudeste de Minas	Latossolos e podzólicos	Cwa e Cwb	18	1617	925
Três Marias	17°58'39"S 44°55'06"O	Central Mineira, Norte de Minas	Latossolo vermelho- amarelo álico e distrófico	Aw	23	1242	946

Temp. = temperatura média anual (°C); Ppt. = precipitação total anual (mm); Alt. = altitude média (m). *Comunicação pessoal. GOMES, Francisco. Disponível em: francisco.gomes@gerdau.com.br. Acesso em: 18 maio 2012; **Classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ***Classificação climática de Köppen. Fonte: Agritempo (2013); Embrapa Informática Agropecuária (2013); Instituto de Geociências Aplicadas – IGA (2013); Miranda (2005); Sá Júnior et al. (2012)

Tabela 2. Número de árvores amostradas por idade e por local*.**Table 2.** Number of trees sampled by age and by location.

Idade (anos)	João Pinheiro	Montes Claros	Rio Pardo de Minas	Sul de Minas	Três Marias	Total
4	25 (5)	-	-	35 (7)	20 (4)	80
5	20 (4)	25 (5)	10 (2)	30 (6)	30 (6)	115
6	10 (2)	10 (2)	25 (5)	35 (7)	20 (4)	100
7	-	10 (2)	25 (5)	35 (7)	30 (6)	100
8	-	-	15 (3)	20 (4)	30 (6)	65
9	-	-	-	-	25 (5)	25
Total	55	45	75	155	155	485

*Números entre parênteses se referem à quantidade de sublocais dentro de cada local por idade.

A estimativa do incremento médio anual em massa seca foi obtida multiplicando-se o IMA pela densidade básica a 1,30 m de altura ou pela densidade básica média da árvore.

A avaliação experimental foi realizada por meio do delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com cinco repetições. Para avaliar o efeito dos fatores principais (local e idade) e da interação entre os fatores principais, os locais foram agrupados em relação às idades de avaliação, uma vez que estas foram divergentes entre os mesmos. Dessa forma, foi possível analisar o efeito dos locais: João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias nas idades quatro, cinco e seis anos; Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias nas idades cinco, seis, sete e oito anos; Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias nas idades cinco, seis e sete anos; Sul de Minas e Três Marias nas idades quatro, cinco, seis, sete e oito anos.

Na avaliação do efeito do local, foi utilizado o teste de Tukey, a 5 % de probabilidade. Já no efeito da idade, utilizou-se a análise de regressão linear para verificar a relação funcional existente entre a idade e as características analisadas, com exceção do IMA, incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na

posição do DAP (IMSDBD) e pela densidade básica média (IMSDBM).

Para avaliar a significância da análise de variância do delineamento experimental adotado e da regressão foi utilizado o teste F, enquanto que para a significância dos parâmetros do modelo linear ajustado, empregou-se o teste t de Student, ambos a 5% de probabilidade.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no Sisvar (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do efeito da idade e do local sobre as características de crescimento e a densidade básica, referentes aos agrupamentos dos locais, serão abordados a seguir.

João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias

A análise de variância para o delineamento experimental adotado indicou efeito significativo da interação local x idade para as características de crescimento avaliadas e a densidade básica. Essa interação significativa indicou que existiu dependência entre os fatores (local e idade).

As médias das características de crescimento e da densidade básica, considerando o desdobra-

mento e a avaliação do efeito do local dentro de idade, estão apresentadas na Tabela 3. Os valores encontrados para a produção em massa seca no Sul de Minas e Três Marias foram semelhantes ao observado por Santos et al. (2012), em estudos com clones de *E. urophylla* em diferentes locais. Verificou-se também que João Pinheiro foi a região menos favorável ao crescimento das árvores, aos cinco anos, e também o local com menor densidade básica, na mesma idade. No entanto, os menores valores médios de densidade básica aos quatro e seis anos foram obtidos na região do Sul de Minas.

Notou-se, na Tabela 3, que os valores médios, em especial dos incrementos volumétricos e em massas secas, variaram entre as idades, não apresentando o resultado esperado do aumento sucessivo desses valores com o avanço da idade, principalmente em João Pinheiro. Esse resultado ocorreu provavelmente em virtude da amostragem considerada, pois houve grande amplitude de IMA na amostragem, com elevado valor aos quatro anos e menores valores nas idades de cinco e seis anos em João Pinheiro, o que interferiu na média.

De modo geral, os valores de densidade básica, apresentados na Tabela 3, foram próximos aos verificados por Santana et al. (2012), ao estudar o efeito da idade sobre a densidade básica da madeira do clone GG 100 (0,365 a 0,452 g/cm³).

A relação funcional entre os valores médios de volume e idade, com a distribuição dos resíduos, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro de Sul de Minas e de Três Marias, está mostrada na Figura 1. O efeito da idade sobre o volume não foi significativo em João Pinheiro. De modo geral, verificou-se maior taxa de incremento nas árvores mais

jovens. Nos dois locais, a relação funcional foi explicada por um modelo linear simples, em que para a região do Sul de Minas foi obtido um melhor ajuste. Porém, analisando a distribuição dos resíduos, observou-se uma possível transgressão à suposição básica de homogeneidade de variâncias (homocedasticidade) dos modelos lineares ajustados, uma vez que a variância não foi constante. Esse fato era esperado, já que foi realizado um ajuste em função da idade.

Ao avaliar o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro do local, foi observado que o efeito da idade sobre a densidade básica determinada na altura do DAP (DBDAP) foi não significativo apenas em Três Marias. Assim, na Figura 2, verificou-se a relação funcional entre os valores médios da DBDAP e a idade em João Pinheiro e Sul de Minas. Enquanto que na Figura 3, verificou-se a relação funcional entre os valores médios de densidade básica média (DBMED) e a idade em João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias.

Observou-se que a relação funcional foi explicada pelo modelo linear simples para as duas densidades, com elevados valores de coeficiente de determinação, indicando a qualidade do ajuste (Figuras 2 e 3). No entanto, mereceu destaque o modelo ajustado para Três Marias, uma vez que foi obtido melhor ajuste e resíduos aleatoriamente distribuídos com ausência de observações discrepantes. A análise gráfica da distribuição dos resíduos revelou a presença de possíveis observações discrepantes para os demais modelos. Isso provavelmente foi originado pela presença, por exemplo, de nó na madeira, ou pela variação dentro do local. Essas observações discrepantes podem ter prejudicado a qualidade do ajuste e o comportamento dos resíduos.

Tabela 3. Valores médios das características de crescimento e da densidade básica em João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias.

Table 3. Mean values of the growth characteristics and basic density at João Pinheiro, Southern Minas Gerais and Três Marias.

Idade	Local	Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM	DBDAP	DBMED
4	João Pinheiro	165,22	40,70	17228,42	18090,95	0,416b	0,437b
4	Sul de Minas	158,29	40,22	15436,37	16316,04	0,387a	0,409a
4	Três Marias	145,43	35,69	15753,37	16216,62	0,447c	0,456c
5	João Pinheiro	133,84a	25,70a	11027,01a	11363,57a	0,428a	0,438a
5	Sul de Minas	227,03b	44,79b	19075,27b	20048,08b	0,437ab	0,457b
5	Três Marias	223,21b	45,39b	20872,12b	21476,03b	0,454b	0,469b
6	João Pinheiro	158,81a	26,47	12299,27	12598,52	0,461ab	0,472b
6	Sul de Minas	241,45b	40,29	18314,89	19039,61	0,445a	0,462a
6	Três Marias	209,05ab	35,18	16498,16	16791,53	0,472b	0,479b

Idade em anos; Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na posição do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP (g/cm³); DBMED = densidade básica média (g/cm³). Médias seguidas da mesma letra, para uma mesma idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

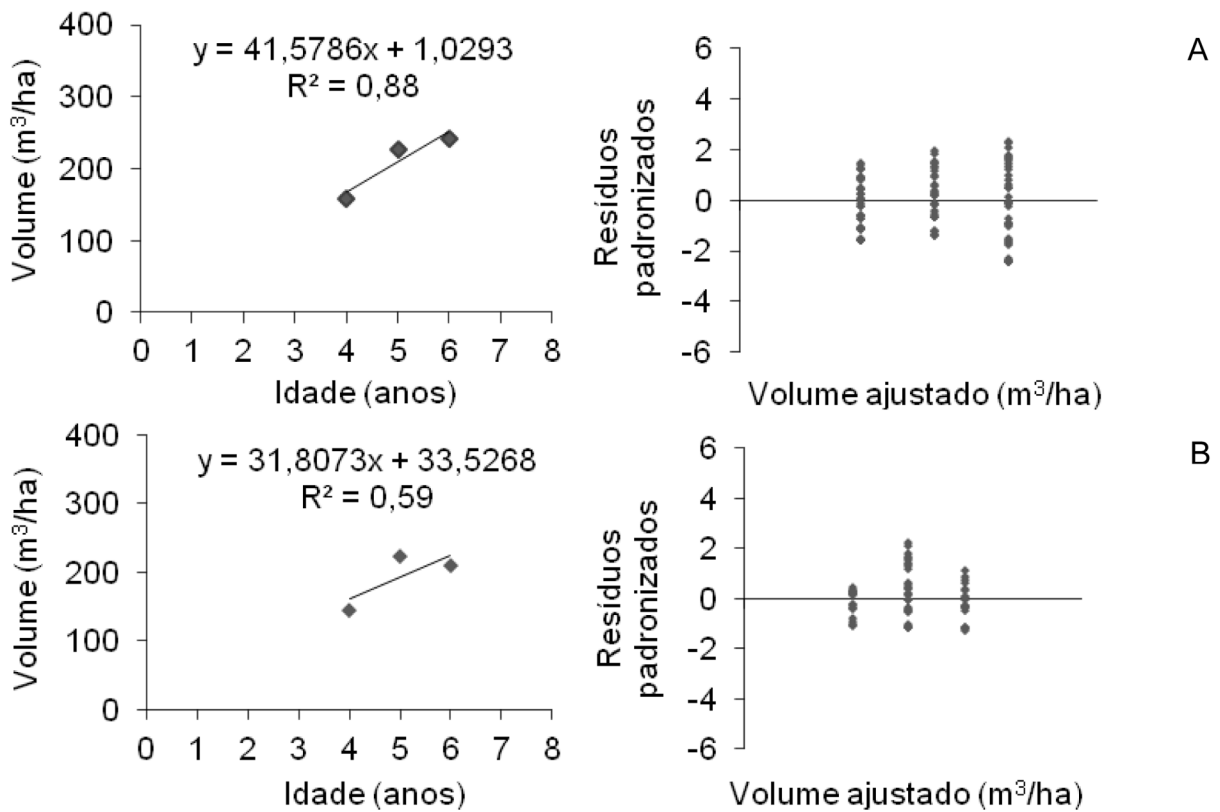


Figura 1. Relação funcional entre volume e idades de quatro, cinco e seis anos em Sul de Minas (A) e em Três Marias (B), com a distribuição dos resíduos.
Figure 1. Functional relationship between volume and age at four, five and six years in Southern Minas Gerais (A) and Três Marias (B), with the distribution of residuals.

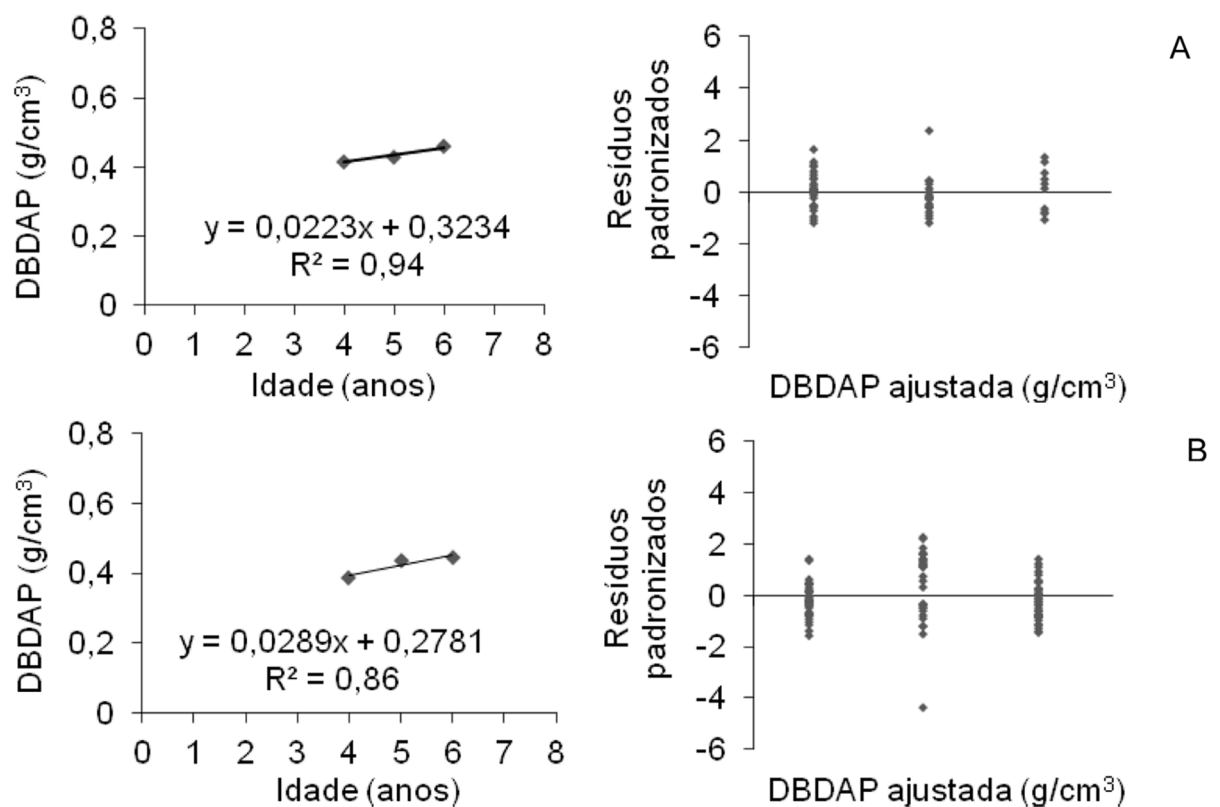


Figura 2. Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idades de quatro, cinco e seis anos em João Pinheiro (A) e em Sul de Minas (B), com a distribuição dos resíduos.
Figure 2. Functional relationship between basic densities obtained at DBH (DBDAP) and ages four, five and six years at João Pinheiro (A) and Southern Minas Gerais (B), with the distribution of residuals.

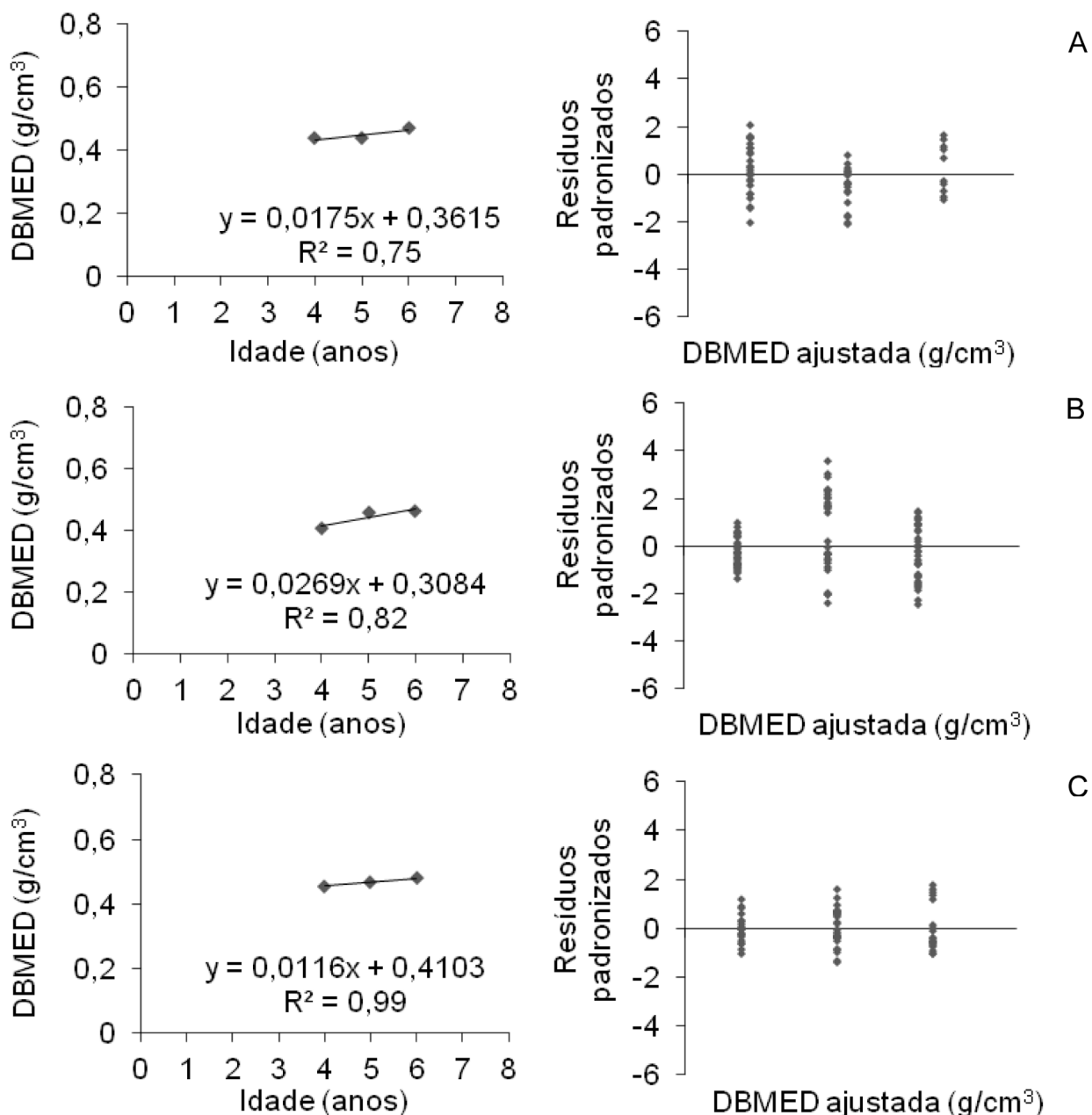


Figura 3. Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco e seis anos em João Pinheiro (A), Sul de Minas (B) e Três Marias (C), com a distribuição dos resíduos.

Figure 3. Functional relationship between mean basic density (DBMED) and ages four, five and six years at João Pinheiro (A), Southern Minas Gerais (B) and Três Marias (C), with the distribution of residual.

Constatou-se também que, semelhante ao resultado para a DBDAP, a DBMED apresentou a tendência de aumentar com a idade do material genético, o que era esperado, visto que a densidade é influenciada pela idade (Figuras 2 e 3). Esse resultado foi semelhante aos encontrados na literatura, como o de Castro (2011) e o de Santana (2012).

Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias

Pela análise de variância, verificou-se efeito significativo da interação local x idade para as características de crescimento e para a densidade básica.

As médias das características de crescimento e da densidade básica, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito do local dentro da idade, estão na Tabela 4. Observou-se, nas idades avaliadas, que Rio Pardo de Minas foi a região que apresentou os menores valores médios para todas as características de crescimento, seguida do Sul de Minas para o IMSDBD e o IMSDBM, aos sete anos. Por outro lado, Sul de Minas foi o local que proporcionou maior crescimento do clone na idade de oito anos. A menor produção volumétrica e em massa seca em Rio Pardo de Minas possivelmente foi resultante do baixo regime pluviométrico dessa re-

gião em relação às demais, dos fatores edáficos e da capacidade produtiva. Resultado análogo foi obtido por Ferraz (1993), que constatou a correlação positiva entre biomassa seca de diversas espécies de *Eucalyptus*, aos nove anos, e o índice pluviométrico. Igualmente, o elevado valor do IMA foi relacionado com o maior índice pluviométrico em pesquisa realizada por Santos et al. (2012) com clones de *E. urophylla*, aos seis anos.

Ainda, foi possível observar que os resultados do teste de comparação múltipla para o volume e o IMA, em geral, foram semelhantes estatisticamente aos resultados obtidos desse teste para o IMSDBD e o IMSDBM (Tabela 4). Isso evidenciou que o incremento volumétrico interferiu diretamente sobre a produção de massa seca, o que era esperado. Resultado semelhante também foi constatado por Trugilho (2009), trabalhando com clones de *Eucalyptus*, em diversas idades.

Em geral, Sul de Minas foi o local onde se observou os menores valores médios de densidade básica, apesar de ter sido o mais adequado para o crescimento das plantas. Já na idade de oito anos, a densidade básica foi maior em Rio Pardo de Minas (Tabela 4). Esse resultado provavelmente foi consequência das diferenças dos índices pluviométricos entre os sítios. A elevada pluviosidade pode favorecer a atividade do meristema cambial e, conseqüentemente, estimular a divisão celular, aumentando a proporção da madeira juvenil ou do lenho inicial no anel anual de crescimento, contribuindo com a formação de madeira de menor densidade. Esse resultado também foi reportado por Oliveira et al. (2012), ao avaliar a madeira de diferentes fitofisionomias do estado de Minas Gerais.

O efeito da idade sobre os valores médios de volume, avaliando o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro do local, somente foi não significativo em Rio Pardo de Minas. Assim, na Figura 4, observou-se a relação funcional entre os valores médios de volume e idade em Sul de Minas e em Três Marias. Notou-se que o modelo quadrático ajustado no Sul de Minas obteve melhor qualidade de ajuste e melhor distribuição dos resíduos. Ao observar graficamente o crescimento volumétrico, esperava-se uma curva com formato sigmoidal. No entanto, isso não ocorreu provavelmente em virtude da amostragem realizada, uma vez que a quantidade de árvores amostradas e a faixa de idade foi inferior comparada com estudos de crescimento e produção.

A relação funcional entre DBDAP e idade, em Rio Pardo de Minas e em Sul de Minas, está ilustrada na Figura 5, no desdobramento e avaliação do efeito da idade dentro do local. Em Três Marias, o efeito da idade para a DBDAP foi não significativo, logo não foi realizada a regressão. Por sua vez, a relação funcional da DBMED com a idade está apresentada na Figura 6 em Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias. Em geral, a DBDAP e a DBMED aumentaram com a idade do material genético. Apesar disso, houve uma redução da taxa de incremento da densidade básica com o aumento da idade, tendendo à estabilização, indicando o início da transição entre a madeira juvenil e adulta (Figuras 5 e 6). Trugilho, Lima e Mendes (1996) obtiveram esse mesmo resultado, em trabalho com *Eucalyptus saligna*, nas idades de um a quatro anos.

Tabela 4. Valores médios das características de crescimento e da densidade básica em Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias.

Table 4. Mean values of the growth characteristics and basic density at Rio Pardo de Minas, Southern Minas Gerais and Três Marias.

Idade	Local	Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM	DBDAP	DBMED
5	Rio Pardo de Minas	150,92	27,70a	12537,41a	13228,29a	0,450	0,477b
5	Sul de Minas	227,03	44,79b	19075,27b	20048,08b	0,437	0,457a
5	Três Marias	223,21	45,39b	20872,12b	21476,03b	0,454	0,469ab
6	Rio Pardo de Minas	182,33	30,08	14103,41	14677,25	0,469b	0,484b
6	Sul de Minas	241,45	40,29	18314,89	19039,61	0,445a	0,462a
6	Três Marias	209,05	35,18	16498,16	16791,53	0,472b	0,479b
7	Rio Pardo de Minas	214,07a	30,26a	14567,99a	15180,79a	0,473b	0,489b
7	Sul de Minas	281,44b	40,76b	17425,58ab	18530,41ab	0,425a	0,449a
7	Três Marias	322,13b	45,74b	21614,03b	22444,17b	0,472b	0,491b
8	Rio Pardo de Minas	232,97a	30,33a	15445,65a	15783,26a	0,509b	0,520b
8	Sul de Minas	443,69b	55,46b	26020,42b	26850,03b	0,463a	0,478a
8	Três Marias	287,62a	35,21a	16876,26a	17060,69a	0,470a	0,481a

Idade em anos; Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca estimado pela densidade básica na posição do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP (g/cm³); DBMED = densidade básica média (g/cm³). Médias seguidas da mesma letra, para uma mesma idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

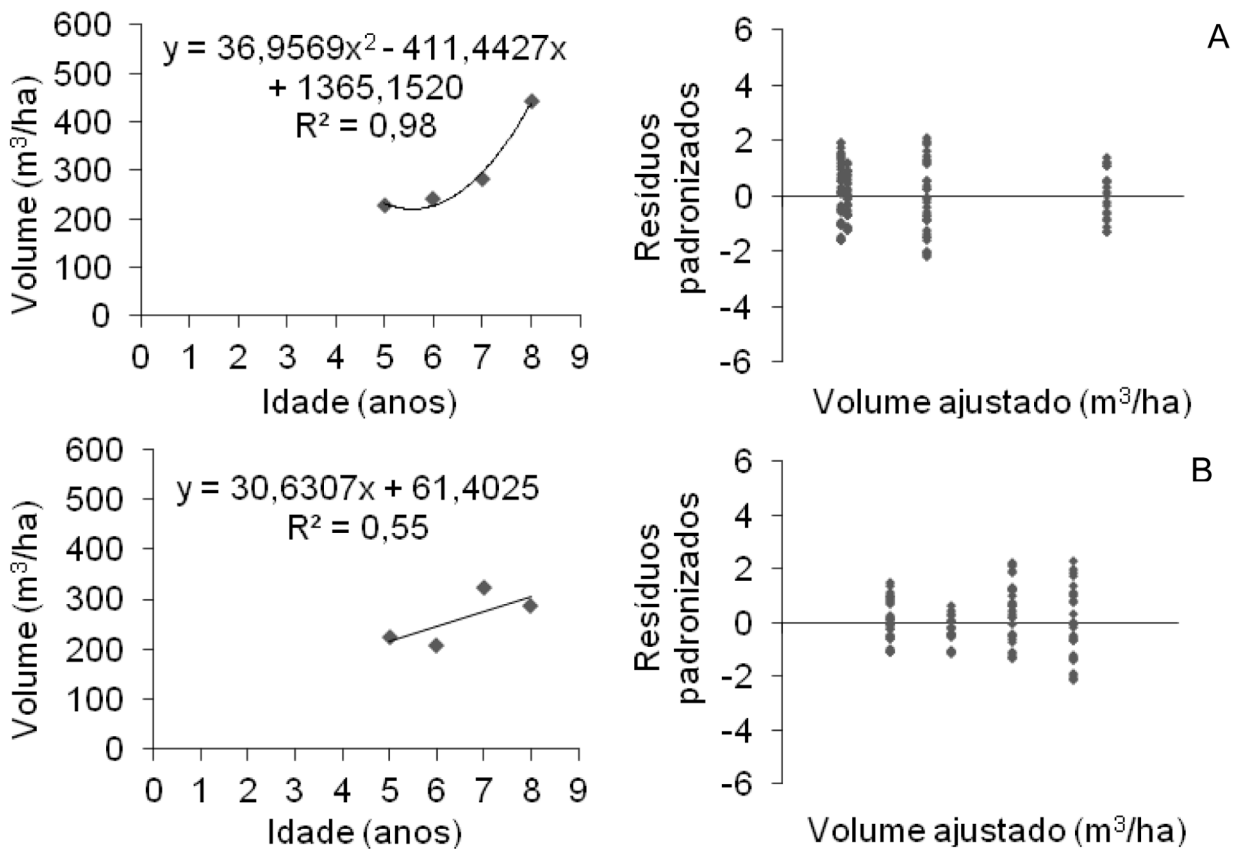


Figura 4. Relação funcional entre volume e idades de cinco, seis, sete e oito anos em Sul de Minas (A) e Três Marias (B), com a distribuição dos resíduos.

Figure 4. Functional relationship between volume and age of five, six, seven and eight years at Southern Minas Gerais (A) and Três Marias (B), with the distribution of residuals.

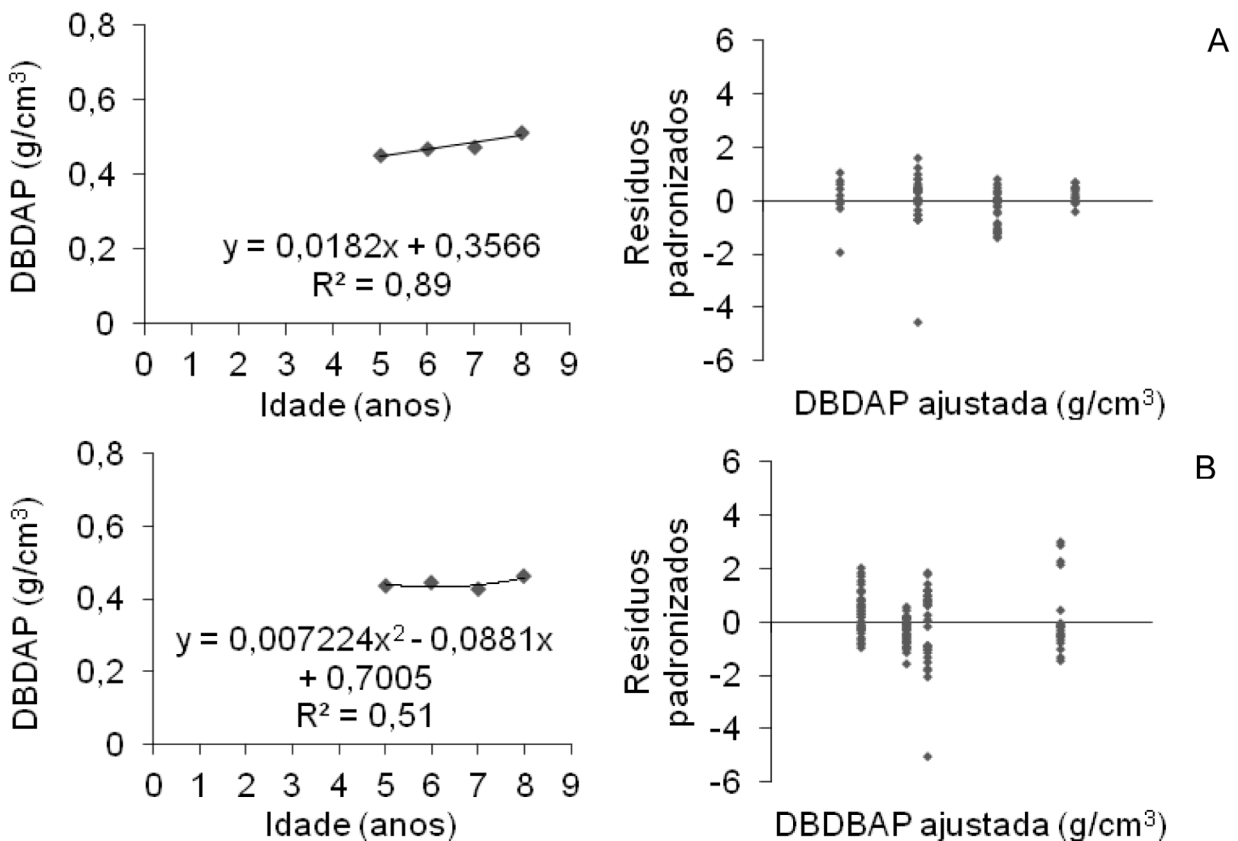


Figura 5. Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idades de cinco, seis, sete e oito anos em Rio Pardo de Minas (A) e em Sul de Minas (B), com a distribuição dos resíduos.

Figure 5. Functional relationship between basic density obtained at the height of DBH (DBDAP) and ages five, six, seven and eight years at Rio Pardo de Minas (A) and Southern Minas Gerais (B), with the distribution of residuals.

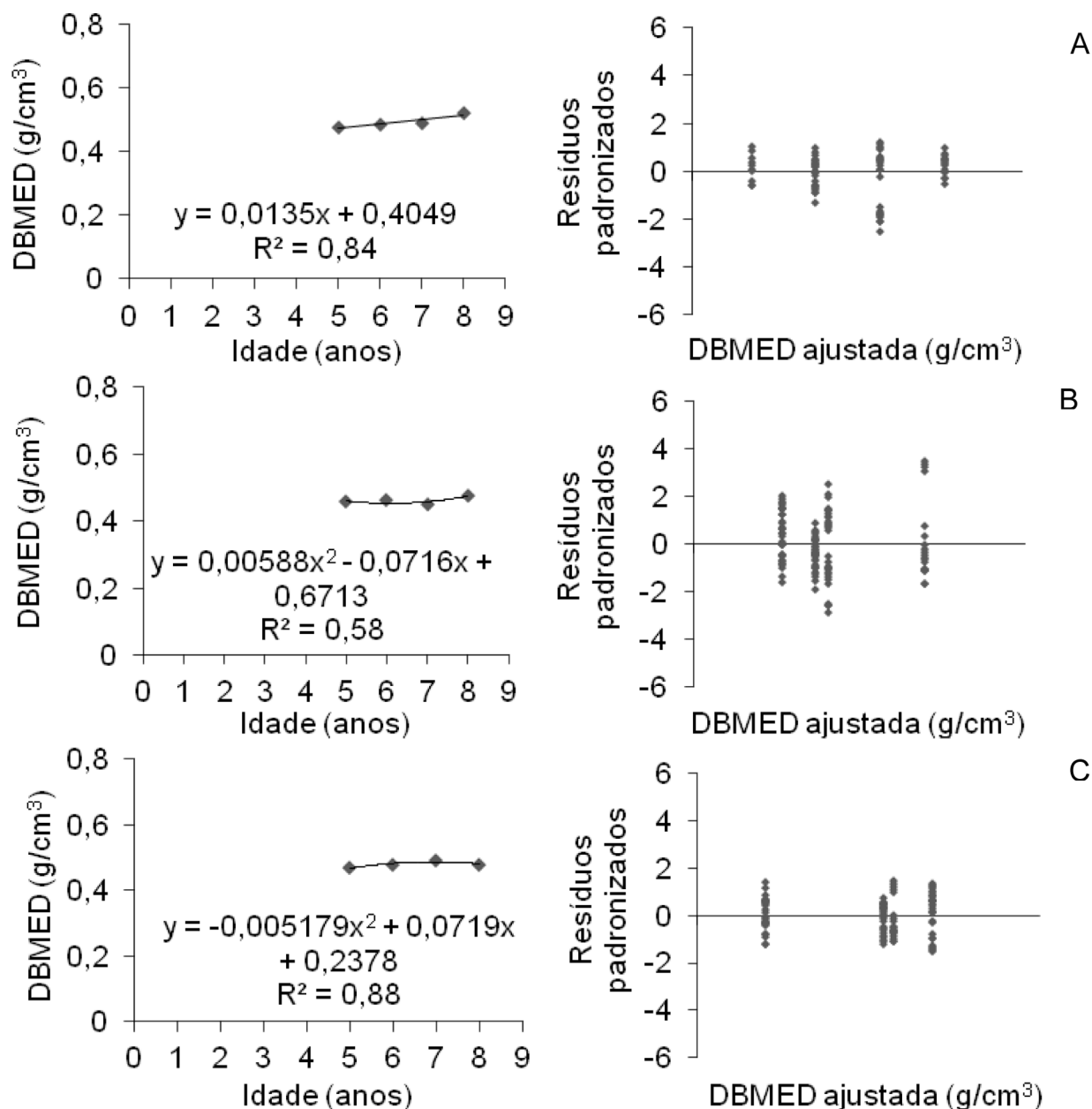


Figura 6. Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis, sete e oito anos em Rio Pardo de Minas (A), Sul de Minas (B) e Três Marias (C), com a distribuição dos resíduos.

Figure 6. Functional relationship between mean basic density (DBMED) and ages five, six, seven and eight years at Rio Pardo de Minas (A), Southern Minas Gerais (B) and Três Marias (C), with the distribution of residuals.

Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias

Na análise de variância, foi verificado o efeito significativo do local e da idade para todas as características de crescimento. Por sua vez, o efeito da interação foi significativo apenas para a densidade básica.

Os valores médios da densidade básica, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito do local dentro da idade, estão apresentados na Tabela 5. A região de Montes Claros

mereceu destaque por apresentar o maior valor médio para as duas densidades, sendo que para a DBDAP, aos cinco e sete anos, a média não diferiu estatisticamente de Rio Pardo de Minas e de Três Marias, enquanto que para a DBMED, analisando a idade de cinco anos, a média foi estatisticamente igual à de Rio Pardo de Minas. Por outro lado, a madeira proveniente do Sul de Minas apresentou a menor densidade básica. Esse fato possivelmente foi resultante da capacidade produtiva e da variação do macrossítio.

Tabela 5. Valores médios da densidade básica em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias.
Table 5. Mean values of basic density at Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Southern Minas Gerais and Três Marias.

Idade (anos)	Local	DBDAP (g/cm ³)	DBMED (g/cm ³)
5	Montes Claros	0,476b	0,491c
5	Rio Pardo de Minas	0,450ab	0,477bc
5	Sul de Minas	0,437a	0,457a
5	Três Marias	0,454ab	0,469ab
6	Montes Claros	0,500b	0,525c
6	Rio Pardo de Minas	0,469a	0,484b
6	Sul de Minas	0,445a	0,462a
6	Três Marias	0,472a	0,479ab
7	Montes Claros	0,490b	0,517c
7	Rio Pardo de Minas	0,473b	0,489b
7	Sul de Minas	0,425a	0,449a
7	Três Marias	0,472b	0,491b

DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP; DBMED = densidade básica média. Valores médios seguidos da mesma letra, para uma mesma idade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito da idade sobre a DBDAP, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro do local, foi significativo apenas em Sul de Minas. No entanto, o ajuste de um modelo linear simples ou de modelos de outra forma não apresentou significância.

A relação da DBMED com a idade em Montes Claros e Três Marias está mostrada na Figura 7. Em ambos os locais, verificou-se um aumento da densidade com a idade, sendo a

relação explicada pelo modelo linear simples. O modelo ajustado para Três Marias se destacou em virtude do melhor ajuste obtido, além da ausência de observações discrepantes, conforme mostrou a análise gráfica de distribuição de resíduos. O efeito da idade sobre a DBMED foi não significativo em Rio Pardo de Minas. No Sul de Minas, apesar de esse efeito ter sido significativo, a regressão linear não apresentou significância.

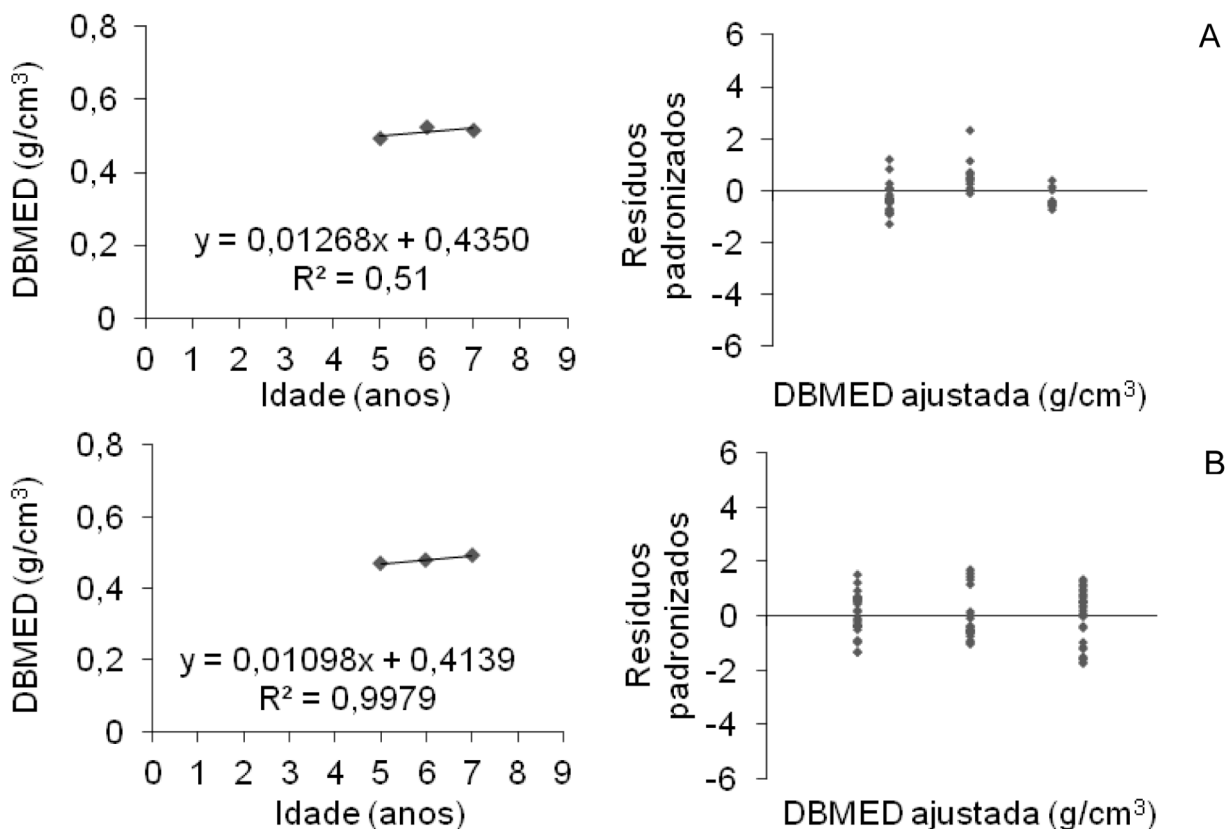


Figura 7. Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis e sete anos em Montes Claros (A) e Três Marias (B), com a distribuição dos resíduos.

Figure 7. Relationship between average basic density (DBMED) and ages five, six and seven years at Montes Claros (A) and Três Marias (B), with the distribution of residuals.

Ao avaliar somente o efeito do local, na Tabela 6, observou-se em Sul de Minas e Três Marias os maiores valores para todas as características de crescimento, indicando que estes foram os locais que melhor proporcionaram o crescimento das árvores. Essas diferenças nos valores entre as regiões foram resultantes dos índices pluviométricos diferenciados, além da capacidade produtiva do local.

A relação dos valores médios de volume com a idade, além da análise gráfica de distribuição dos resíduos, pode ser observada na Figura 8. Percebeu-se que após um período de estabilização, ocorreu uma retomada do crescimento em volume a partir do sétimo ano. Isso demonstrou que o clone, nesses locais, ainda estava em desenvolvimento.

Sul de Minas e Três Marias

Pela análise de variância, foi verificado que os efeitos do local e da idade foram significativos para a DBDAP. O efeito da interação foi significativo para a DBMED e para as características de crescimento.

Ao avaliar somente o efeito do local, as médias da DBDAP estão na Figura 9. A maior

densidade básica foi obtida para as madeiras provenientes de Três Marias. A precipitação em Três Marias foi menor comparada com a de Sul de Minas. Esse fato provavelmente contribuiu para a maior densidade básica observada em Três Marias, que, possivelmente, teria maior proporção de madeira adulta ou de lenho tardio no anel anual de crescimento em virtude da redução da atividade cambial. De acordo com Oliveira et al. (2012), a maior densidade está correlacionada com condições ambientais desfavoráveis, em que a atividade fisiológica e cambial das árvores é reduzida. Por outro lado, como Sul de Minas foi o local com elevada pluviosidade, a densidade básica apresentou a tendência de ser menor. Esse resultado também foi constatado por Ribeiro e Zani Filho (1993), ao avaliar a madeira de *E. grandis*, com quase cinco anos, e por Sette Junior et al. (2010) também com *E. grandis*. Segundo estes últimos autores, a madeira possui lenho inicial com vasos de maior diâmetro e frequência e menor densidade na estação de crescimento, em contrapartida, na fase de estresse hídrico, são observados vasos de menor diâmetro e frequência e maior densidade no lenho tardio.

Tabela 6. Valores médios das características de crescimento em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias.

Table 6. Mean values of the growth characteristics at Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Southern Minas Gerais and Três Marias.

Local	Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM
Montes Claros	202,38a	36,22ab	17513,01b	18172,05ab
Rio Pardo de Minas	190,32a	29,76a	14035,99a	14645,57a
Sul de Minas	251,12b	41,80b	18231,75b	19163,93b
Três Marias	256,76b	42,97b	20056,85b	20667,96b

Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca estimado pela densidade básica na posição do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

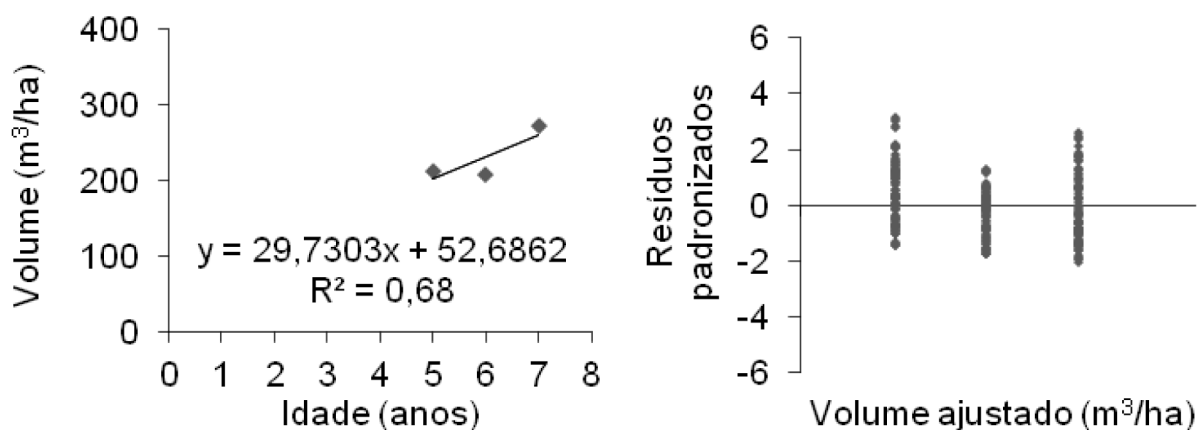
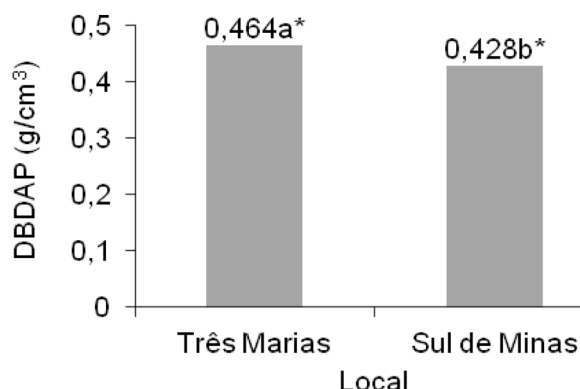


Figura 8. Relação entre volume e idade, com a distribuição dos resíduos, nos quatros locais: Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias.

Figure 8. Relationship between volume and age, with distribution of residuals, in four places: Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Southern Minas Gerais and Três Marias.

Na Figura 10, está apresentada a relação funcional entre os valores médios de DBDAP e a idade. Verificou-se o aumento da densidade básica com a idade, com um maior incremento



*Nota: Médias seguidas de letra diferente diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

Figura 9. Valores médios de densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) em Sul de Minas e Três Marias.

Figure 9. Mean values of basic density obtained at DBH (DBDAP) at Southern Minas Gerais and Três Marias.

na idade de quatro para cinco anos, sendo que, em seguida, houve uma redução dessa taxa, tendendo à estabilização em virtude do início da transição da fase juvenil para adulta. Segundo Vital (1984), há um rápido aumento da densidade durante o período juvenil, seguido de modo mais lento até atingir a maturidade, permanecendo mais ou menos constante a partir desse momento.

Os valores médios das características de crescimento e da DBMED, avaliando o desdobramento do efeito do local dentro da idade, estão na Tabela 7. Para as características de crescimento, verificou-se aos oito anos, que Sul de Minas foi o local que proporcionou melhores condições de crescimento. Isso provavelmente foi uma consequência do elevado índice pluviométrico da região e das demais diferenças edafoclimáticas. No entanto, avaliando as idades de quatro, seis e sete anos, o maior valor de DBMED foi obtido em Três Marias.

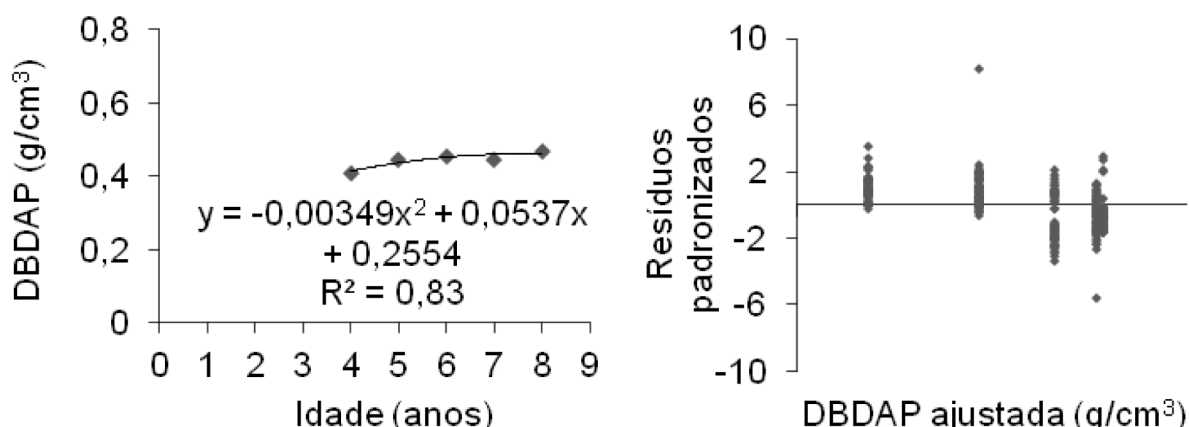


Figura 10. Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP - DBDAP e idade em Sul de Minas e Três Marias, com a distribuição dos resíduos.

Figure 10. Functional relationships between basic densities obtained at DBH - DBDAP and age at Southern Minas Gerais and Três Marias, with the distribution of residuals.

Tabela 7. Valores médios das características de crescimento e da densidade básica média em Sul de Minas e Três Marias.

Table 7. Mean values of growth characteristics and mean basic density at Southern Minas Gerais and Três Marias.

Idade	Local	Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM	DBMED
4	Sul de Minas	158,29	40,22	15436,37	16316,04	0,409a
4	Três Marias	145,43	35,69	15753,37	16216,62	0,456b
5	Sul de Minas	227,03	44,79	19075,27	20048,08	0,457
5	Três Marias	223,21	45,39	20872,12	21476,03	0,469
6	Sul de Minas	241,45	40,29	18314,89	19039,61	0,462a
6	Três Marias	209,05	35,18	16498,16	16791,53	0,479b
7	Sul de Minas	281,44	40,76	17425,58a	18530,41	0,449a
7	Três Marias	322,13	45,74	21614,03b	22444,17	0,491b
8	Sul de Minas	443,69b	55,46b	26020,42b	26850,03b	0,478
8	Três Marias	287,62a	35,21a	16876,26a	17060,69a	0,481

Idade em anos; Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); DBMED = densidade básica média (g/cm³). Médias seguidas de letra diferente, para uma mesma idade, diferem entre si a 5% de probabilidade.

A relação funcional entre as médias de volume e a idade, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro do local, está ilustrada na Figura 11 em Sul de Minas e Três Marias. A relação funcional obtida em Sul de Minas se destacou em virtude do melhor ajuste apresentado, embora se observasse uma ligeira tendenciosidade na distribuição dos resíduos para os dois modelos.

A relação funcional entre idade e DBMED em Sul de Minas e Três Marias está apresentada na Figura 12. Verificou-se que a densidade aumentou com a idade em ambos os locais, sendo que a maior taxa de incremento, principalmente nas árvores mais jovens, foi observada no Sul de Minas. O modelo ajustado para Três Marias se destacou em comparação com o de Sul de Minas, uma vez que apresentou melhor ajuste. Apesar disso, os dois modelos apresentaram observações discrepantes.

Githiomi e Kariuki (2010), em pesquisa com *E. grandis*, com diversas idades, também utilizaram o modelo quadrático para explicar a relação entre densidade básica e a idade. Os autores obtiveram um coeficiente de determinação de 99%, valor que se aproximou do modelo ajustado para Três Marias.

De modo geral, o clone GG 100 se caracterizou como de baixa densidade, o que pode comprometer o seu potencial para a produção energética, exceto aos sete e oito anos em Montes Claros e Rio Pardo de Minas, respectivamente, sendo, nesse caso, caracterizado como de média densidade (Tabelas 3, 4, 5 e 7; Figura 9).

É desejável uma madeira mais densa para o uso energético, visto que proporcionará um carvão vegetal com maior densidade aparente. Entretanto, ressalta-se que outras características da madeira também exercem influência na qualidade do carvão produzido como, por exemplo, o teor de lignina.

Com relação à produção volumétrica e em massa seca, de modo geral, Sul de Minas e Três Marias foram os locais que proporcionaram maior crescimento do clone GG 100, com destaque para Sul de Minas aos oito anos, mostrando que o clone plantado nesses locais apresentou melhor potencial para fins energéticos (Tabelas 3, 4, 6 e 7). É fundamental para essa finalidade que as árvores possuam elevado incremento volumétrico e em massa seca, uma vez que a produção de massa seca influencia a produção energética.

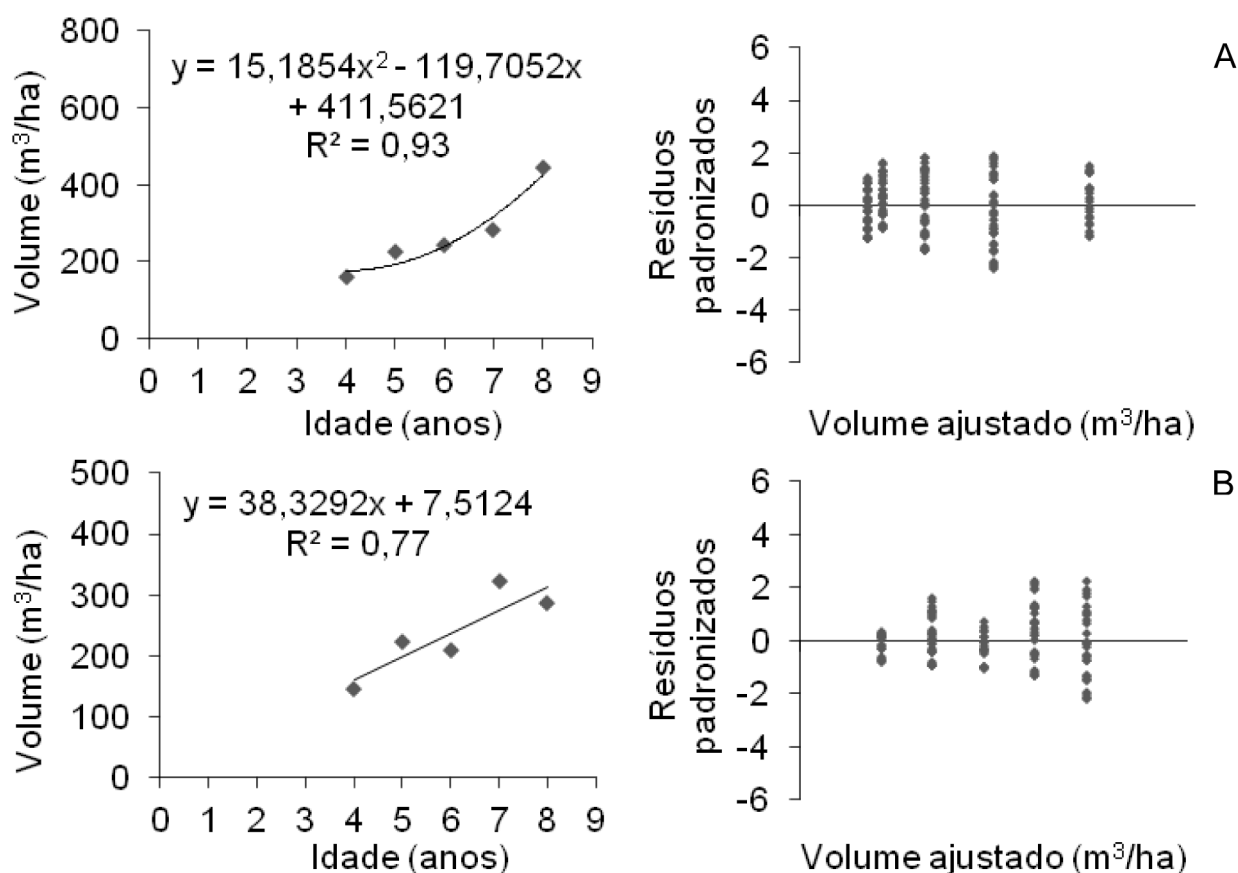


Figura 11. Relação funcional entre volume e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos em Sul de Minas (A) e Três Marias (B), com a distribuição dos resíduos.

Figure 11. Functional relationships between volume and age of four, five, six, seven and eight years at Southern Minas Gerais (A) and Três Marias (B), with the distribution of residuals.

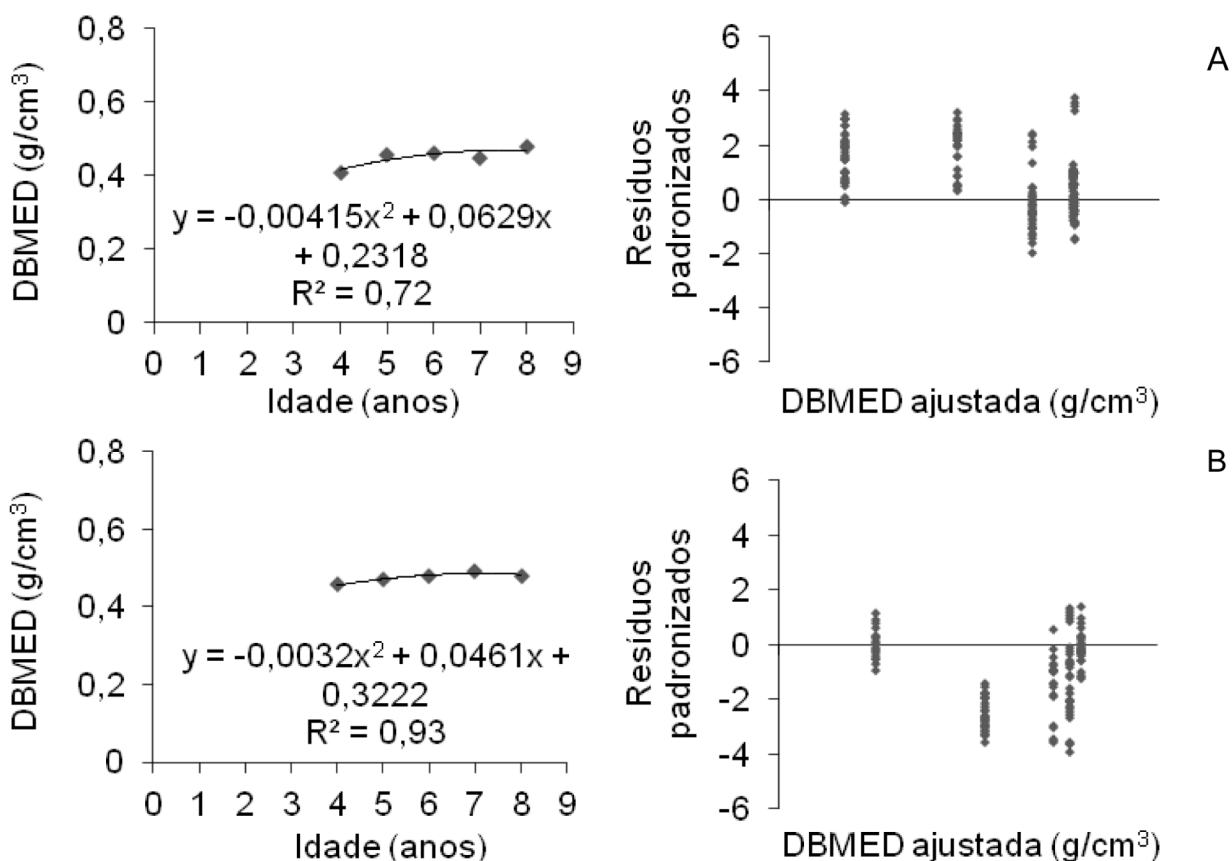


Figura 12. Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos em Sul de Minas (A) e Três Marias (B), com a distribuição dos resíduos.

Figure 12. Relationships between mean basic density (DBMED) and ages four, five, six, seven and eight years at Southern Minas Gerais (A) and Três Marias (B), with the distribution of residuals.

Para maiores incrementos na densidade básica e no crescimento, medidas poderão ser adotadas, como a intensificação de programas de melhoria genético, a adoção de melhores práticas silviculturais ou o aumento da idade de rotação.

A definição de uma idade de rotação neste estudo foi inconclusiva, pois o ideal seria que existisse concomitantemente o incremento da densidade básica e da produção volumétrica e em massa seca a fim de obter maximização da produção de carvão vegetal. Para isso, apesar de verificar uma tendência da estabilização dos valores médios de densidade básica, futuras avaliações serão necessárias com idades superiores à desse estudo para obter uma definição conclusiva a respeito da idade de rotação. Além disso, a avaliação da qualidade da madeira também deverá ser realizada.

CONCLUSÕES

A densidade básica e as características de crescimento do clone GG 100 foram influenciadas significativamente pela capacidade produtiva do sítio, idade e a interação desses fatores.

A idade influenciou positivamente a densidade básica da madeira em todos os locais avaliados.

O local que apresentou melhor índice pluviométrico e melhor crescimento das árvores, Sul de Minas, influenciou negativamente o valor da densidade básica e positivamente a produção de massa seca do clone GG 100. Por sua vez, a madeira proveniente de Montes Claros apresentou a maior densidade básica média.

Novos estudos sobre as características químicas e anatômicas da madeira, além da densidade básica, com idades acima de nove anos deverão ser realizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941. Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

AGRITEMPO. Sistema de monitoramento agrometeorológico. Rede de estações. Disponível em: < <http://www.agritempo.gov.br/estacoes.html>>. Acesso em: 18 mar. 2013.

- CASTRO, A. F. N. M. Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal. 2011. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley, 1983. 333 p.
- DOWNES, G. M.; HUDSON, I. L.; RAYMOND, C. A.; DEAN, G. H.; MICHELL, A. J.; SCHIMLECK, L. R.; EVANS, R.; MUNERI, A. **Sampling plantation eucalyptus for wood and fiber properties**. Melbourne: CSIRO, 1997. 132 p.
- EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento de riscos agrícolas do Brasil: monitoramento agrometeorológico e previsão de safras**. Mapa de solos de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/finep/metas-fisicas/meta-fisica-6/mapas/07%20-%20image.jpeg/view>>. Acesso em: 3 jun. 2013.
- FERRAZ, E. S. B. A influência da precipitação na produção de matéria seca de eucaliptos. IPEF, Piracicaba, n. 46, p. 32-42, jan./dez. 1993.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GITHIOMI, J. K.; KARIUKI, J. G. Wood basic density of *Eucalyptus grandis* from plantations in Central Rift Valley, Kenya: variation with age, height level and between sapwood and heartwood. *Journal of Tropical Forest Science*, Kuala Lumpur, v. 22, n. 3, p. 281-286, jul. 2010.
- IGA - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS. **Cartografia**. Disponível em: <http://www.iga.br/SiteIGA/mapas/cgi/IGA_09_Cartografia.php#Meso>. Acesso em: 8 mai. 2013.
- KUMAR, R. et al. Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid, *Acacia auriculaeformis* and *Casuarina equisetifolia*. *Biomass & Bioenergy*, Oxford, v. 35, n. 3, p. 1339-1344, mar. 2011.
- MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/mg/txt/muni2.htm>>. Acesso em: 18 mar. 2013.
- NEVES, T. A.; PROTÍISIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A.; SOUSA, L. C.; VIEIRA, C. M. M. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 56, n. 2, p. 139-148, abr./jun. 2013.
- OLIVEIRA, G. M. V. Efeito do ambiente sobre a densidade básica da madeira de diferentes fitofisionomias do Estado de Minas Gerais. *Cerne*, Lavras, v. 18, n. 2, p. 345-352, abr./jun. 2012.
- QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Within and between-tree variation of bark content and wood density of *Eucalyptus globulus* in commercial plantations. *Iawa Journal*, Leiden, v. 22, n. 3, p. 255-265, 2001.
- RAYMOND, C. A.; MUNERI, A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. *Wood Science and Technology*, New York, v. 35, n. 1-2, p. 27-39, abr. 2001.
- RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. IPEF, Piracicaba, n. 46, p. 76-85, jan./dez. 1993.
- SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F.; CARVALHO, M. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, Hamburg, v. 108, p. 1-7, 2012.
- SANTANA, W. M. S.; CALEGARIO, N.; ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F. Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal *Eucalyptus*. *Cerne*, Lavras, v. 18, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2012.
- SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 971-980, 2012.

- SETTE JUNIOR., C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; LACLAU, J. P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus Grandis* W. Hill. Ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 979-990, 2010.
- SETTE JUNIOR., C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.
- SPURR, S. H.; BARNES, B. V. *Forest ecology*. 3.ed. New York: J. Wiley, 1980. 687 p.
- TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, set./out. 2009.
- TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 20, p. 307-319, 1990.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. *Cerne*, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1996.
- VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Sociedade de investigações florestais. *Boletim Técnico SIF*, Viçosa, n. 1, p. 1-21, 1984.

Recebido em 04/12/2013
Aceito para publicação em 22/10/2014