

Crescimento e Biomassa de *Melia azedarach* L. em Diferentes Espaçamentos e Características Tecnológicas da Madeira Visando à Produção de Carvão

Paulo Sérgio dos Santos Leles¹, Thobias Fagundes Florindo Machado¹,
Jorge Makhoulouta Alonso¹, Azarias Machado de Andrade², Luany Leal da Silva¹

¹Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

²Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, quantificar a biomassa e analisar algumas características tecnológicas que influenciam na produção de carvão vegetal da madeira de cinamomo (*Melia azedarach* L.), implantado em diferentes espaçamentos, em povoamento misto, em Seropédica-RJ. O experimento foi implantado nos espaçamentos 1,0 × 1,0; 1,5 × 1,5; 2,0 × 2,0 e 3,0 × 2,0 m. Um ano após o plantio, 12 indivíduos de cinamomo foram selecionados em cada espaçamento para mensuração de altura. Estas avaliações ocorreram anualmente, até 5 anos. Na última, também foram avaliados o diâmetro no nível do solo e a área de copa e de cada espaçamento; cinco árvores foram selecionadas, abatidas, separadas em componentes da parte aérea e pesadas. Em seguida, amostras de cada componente foram retiradas, pesadas úmidas e colocadas em estufa para determinação de sua massa seca. Em subamostras da madeira dos espaçamentos 1 × 1 e 3 × 2 m, foi determinada a densidade básica e realizada a pirólise para fins energéticos. Cinamomo apresentou maior crescimento em altura e diâmetro no nível do solo no espaçamento 3 × 2 m. Os valores de área de copa não diferiram entre os espaçamentos. A maior produção de biomassa média por árvore ocorreu no espaçamento 2 × 2 m. A madeira é adequada para a produção de carvão vegetal, não tendo sido verificadas diferenças significativas para as características tecnológicas da madeira entre os dois espaçamentos avaliados.

Palavras-chave: silvicultura, cinamomo, densidade de plantio.

Growth and Biomass of *Melia azedarach* L. at Different Spacings and Technological Characteristics of Wood for Charcoal Production

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the growth, quantify the biomass, and analyze some characteristics of the wood of chinaberry (*Melia azedarach* L.) at different planting spacings in a mixed stand in the municipality of Seropédica, Rio de Janeiro state. The following spacings were used: 1.0 × 1.0; 1.5 × 1.5; 2.0 × 2.0; and 3.0 × 2.0 m. Five years after planting, 12 chinaberry individuals were selected, in each spacing, for measurement of height, diameter at ground level, and canopy area. For analysis of biomass, five trees were selected, felled, separated into components of the aerial part and weighed. Then samples of each component were collected, weighed while humid, and placed in stove for dry weight determination. Subsamples of the components of the aerial part were sent for analysis of carbon content. Basic density was determined and pyrolysis for energetic purposes was performed in the subsamples of wood of spacings 1 × 1 m and 3 × 2 m. Chinaberry presented greater growth in height and diameter at

ground level in the 3 × 2 m spacing. Canopy area values did not differ between the spacings. The highest average biomass production occurred four years after planting in the 2 × 2 m spacing. The wood of chinaberry tree is suitable for the production of charcoal. No significant differences were observed in the technological characteristics of wood between the two spacings evaluated.

Keywords: silviculture, chinaberry, planting density.

1. INTRODUÇÃO

Para atender de forma sustentável à crescente demanda da sociedade por produtos madeireiros, são necessárias pesquisas em silvicultura, tendo em vista aprimorar as técnicas já existentes e desenvolver novas alternativas de exploração e cultivo para diferentes espécies florestais.

No Brasil, existe grande conhecimento gerado em relação à silvicultura dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. No entanto, poucas são as informações para as demais espécies. Dentre as espécies com potencial de cultivo devido ao crescimento relativamente rápido, pode-se citar o cinamomo (*Melia azedarach* L.), que é nativa da Ásia e apresenta potencial de cultivo visando à produção madeireira, tendo boa adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras (Hoppe et al., 1991). Segundo Lorenzi (2003), é espécie caducifólia, que pode atingir mais de 20 metros de altura, sendo rústica e tolerante ao calor e a regiões mais secas, adaptando-se bem a solos de baixa fertilidade. No Brasil, é encontrada em áreas perturbadas, em bordas de estradas, nas clareiras de florestas e em áreas naturais. Algumas utilizações do cinamomo, mencionadas na literatura: combate à desertificação (Kasusya, 1998); uso medicinal e inseticida (Huang et al., 1995; Araújo et al., 2009); uso em carpintaria, compensados e aglomerados (Venson et al., 2008; El-Juhany, 2011); ornamental (Guiselini et al., 1999), dentre outras. Essa espécie é muito cultivada em outros países da América do Sul, a exemplo do Paraguai e da Argentina, onde é relatado rápido crescimento e boa produção madeireira, tanto em plantios homogêneos como em sistemas agroflorestais (Evans & Rombold, 1984; Benitez et al., 2002).

Para conhecer a capacidade produtiva de madeira ou outro produto florestal que poderá ser explorado

em determinada área, é importante quantificar a produção de biomassa de povoamentos florestais. Além disso, a recente preocupação com relação às mudanças climáticas, provocadas por gases do efeito estufa, chama a atenção para plantas que apresentam maior crescimento, pois, segundo Dallagnol et al. (2011), estas têm potencial para capturar mais gás carbônico do ambiente.

Na silvicultura, é de grande importância o estudo do espaçamento de plantio mais adequado para cada sítio e/ou espécie florestal, pois o mesmo influencia na taxa de crescimento das plantas, no aproveitamento dos recursos disponíveis no ambiente, no recobrimento do solo, no manejo do povoamento e no valor e na qualidade da matéria-prima a ser produzida (Leles et al., 1998; Nascimento et al., 2012).

A quantidade de biomassa produzida em um povoamento florestal está diretamente relacionada ao espaçamento de plantio, principalmente pelo fato de este determinar a densidade de plantas presentes na área e influenciar no crescimento das mesmas (Leles et al., 2013). Além disso, o espaçamento pode influenciar também na qualidade dos produtos florestais, intervindo em propriedades físicas da madeira, conforme observado por Lima et al. (2009), ao estudar a espécie *Tectona grandis* Linn; o espaçamento pode também influenciar na produção de carvão vegetal, conforme verificado por Migliorini et al. (1980), para espécies de eucalipto.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e quantificar a biomassa de plantas de cinamomo (*Melia azedarach* L.), implantado em diferentes espaçamentos, em plantio heterogêneo, em Seropédica-RJ. Também analisar a influência do espaçamento em algumas características tecnológicas da madeira e na produção de carvão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área

O estudo foi desenvolvido durante os anos de 2005 a 2009, em um plantio de recomposição florestal implantado em novembro de 2004, em área de propriedade da Usina Termoelétrica (UTE) *Barbosa Lima Sobrinho*, pertencente à Petrobrás e localizada no Km 200 da Rodovia Presidente Dutra, Seropédica-RJ.

Originalmente, a região onde foi realizado o plantio era recoberto por vegetação de floresta ombrófila densa de terras baixas, sob o domínio do bioma Mata Atlântica. Antes do plantio de recomposição florestal, a área estava sendo utilizada para pecuária extensiva com pastoreio de gado bovino, sendo a cobertura vegetal predominantemente herbácea, com incidência principalmente de *Panicum maximum* Jacq. (capim-colômbio).

De acordo com os dados dos últimos 20 anos da Estação Meteorológica da PESAGRO-RJ, a mais próxima ao local do experimento, a precipitação média anual é de 1.245 mm, com o período mais seco nos meses de junho, julho e agosto, e excedentes hídricos em dezembro, janeiro e fevereiro, sem haver déficit hídrico pronunciado no solo (Villa, 2012). A média anual de umidade relativa do ar é de 69,3%. A temperatura média de fevereiro, que é o mês mais quente, é de 27,0 °C; a de julho, o mês mais frio, é 20,6 °C, sendo a temperatura média anual de 23,7 °C. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical quente e úmido).

A área onde foi realizado o plantio apresenta altitude de 30 m em relação ao nível do mar, relevo plano e está situada aproximadamente nas coordenadas geográficas 22° 43' 05,25" S e 43° 38' 30,42" W. O solo da área foi classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico, de acordo com o sistema brasileiro de classificação dos solos (Santos et al., 2006). De acordo com resultados de análise química do solo (Villa, 2012) e com informações de Furtini Neto et al. (2000), o solo apresenta boa fertilidade para formação de povoamentos florestais.

2.2. Caracterização do plantio

No plantio, realizado em novembro de 2004 para fins de recomposição florestal, foram utilizadas 44 espécies arbóreas, dentre exóticas e nativas do bioma Mata Atlântica, pertencentes a 37 gêneros e 16 famílias botânicas. O modelo de plantio misto utilizado consistiu em uma linha de mudas com espécies pioneiras e outra intercalando mudas de espécies pioneiras e de espécies não pioneiras, conforme sugerido em Piña-Rodrigues et al. (1997). O cinamomo foi considerado como uma espécie pioneira. A quantidade de mudas e a distribuição das diferentes espécies nas linhas de plantio foram aleatórias.

Foram testados quatro espaçamentos, os quais constituem os diferentes tratamentos, sendo: 1,0 × 1,0 m (T1); 1,5 × 1,5 m (T2); 2,0 × 2,0 m (T3), e 3,0 × 2,0 m (T4).

As mudas utilizadas apresentavam, na época do plantio, altura variando de 30 a 90 cm, conforme a espécie.

O preparo da área consistiu de aração e gradagem; em seguida, o local das covas foi marcado seguindo rigorosamente os respectivos espaçamentos. Foram abertas covas, manualmente, com dimensões de 25 × 25 × 25 cm (largura, comprimento e profundidade), e estas foram adubadas com 100 g cova⁻¹ de N-P-K (06-30-06).

O controle das formigas cortadeiras foi realizado dois meses antes do plantio, imediatamente após o plantio e nos seis meses seguintes, utilizando iscas granuladas.

A primeira atividade de controle de ervas daninhas foi uma capina realizada em toda a área, em torno de 45 dias após o plantio. Até os 36 meses, roçadas foram feitas em momentos que foi observada alta incidência de plantas competidoras. Também foram realizados coroamentos, quando a equipe técnica julgou necessário. Em nenhum momento, foi realizada capina química.

Na medida em que o experimento avalia diferentes espaçamentos, objetivou-se a máxima sobrevivência das mudas; dessa forma, replantios foram realizados aos 2, 3 e 6 meses após o plantio, sendo o índice de falhas, observado um ano após o plantio, inferior a 10%, em todos os espaçamentos.

2.3. Crescimento e biomassa das plantas

Aos 12 meses após o plantio, foi realizado um levantamento preliminar, por meio de censo, das condições gerais de todas as plantas arbustivas e arbóreas, nos diferentes espaçamentos, quando estas foram agrupadas nas seguintes classes de altura: Classe 1: ≤ 2 m; Classe 2: $2 \text{ m} < \text{altura} < 4$ m; Classe 3: ≥ 4 m. Foram escolhidos doze indivíduos de cinamomo (12 repetições) em cada espaçamento (tratamento), levando em consideração a proporção de indivíduos da espécie encontrados em cada classe de altura nos diferentes espaçamentos.

Foram medidas nas plantas a altura, a circunferência no nível do solo (CNS) e a largura de copa, nos sentidos transversal e longitudinal à linha de plantio. Avaliações de altura foram realizadas entre as idades de 12 e 60 meses após o plantio, e as outras duas características, apenas aos 60 meses. Para fins de análise, a CNS foi transformada em diâmetro no nível do solo (DNS, em cm). A área de copa foi calculada através da fórmula da elipse:

$$AC = L_t \cdot L_t \cdot \pi \cdot 4^{-1}$$

em que: AC = área da copa (m^2); L_t = largura da copa no sentido transversal à linha de plantio (m); L_l = largura da copa no sentido longitudinal à linha de plantio (m); $\pi = 3,1415$.

A análise da biomassa das árvores nos diferentes espaçamentos foi realizada aos 60 meses após o plantio, sendo feito um censo da área total de cada espaçamento, medindo a circunferência no nível do solo (CNS) de todas as árvores de cinamomo. A partir dos dados, foram selecionadas cinco árvores médias de cada espaçamento para serem avaliadas, com o intuito de que estas fossem representativas dos demais indivíduos.

As árvores foram abatidas no nível do solo e divididas nos componentes: folhas, galhos e tronco, pesadas em balança de campo e retiradas amostras para determinação do peso úmido. Também foram retirados discos, com espessura de 5 cm, da base, do meio e do topo do fuste. Considerou-se, como fuste, o tronco de diâmetro até 5 cm de circunferência, sendo o inferior a este considerado como copa (folhas e galhos). Em árvores que apresentaram mais de um fuste, foram retiradas amostras somente do fuste que apresentou o maior CAP (circunferência

à altura do peito). As amostras coletadas em campo foram levadas a laboratório e, no mesmo dia, pesadas úmidas, sendo, em seguida, colocadas em estufa de circulação forçada a 65 ± 2 °C, até estabilização do peso. Com base nas informações de peso total, peso da amostra úmida e peso da amostra seca, determinou-se a matéria seca de cada componente da parte aérea das árvores.

2.4. Características da madeira

Para avaliação da densidade básica e da pirólise da madeira do cinamomo, foram consideradas apenas as plantas dos dois espaçamentos extremos: 1×1 m e 3×2 m. Foram utilizadas amostras das cinco árvores de cinamomo de cada espaçamento com três repetições, totalizando 30 amostras. Também foram realizadas análises químicas do carvão.

Os discos de madeira retirados de cada árvore abatida foram descascados, quarteados e tiveram amostras retiradas para a determinação da densidade básica da madeira pelo método hidrostático, segundo a metodologia proposta por Vital (1984). As amostras foram imersas em água até a completa saturação, o que ocorreu ao final de aproximadamente 48 horas, sendo os seus volumes determinados com base nos volumes de água deslocados pelas mesmas ao serem imersas num Becker com água. Em seguida, as amostras saturadas em água foram colocadas em estufa regulada a 105 ± 3 °C até a estabilização da massa. Com base no volume saturado e na massa seca das amostras, determinou-se a densidade básica. Para esta avaliação, foram utilizadas amostras das cinco árvores de cinamomo de cada espaçamento com três repetições, totalizando 30 amostras.

Para a pirólise dos materiais lenhosos, as amostras de discos de madeira que foram transformadas em cavacos e não utilizadas para determinação da densidade básica da madeira, das cinco árvores de cada espaçamento, foram misturadas, formando assim uma única amostra para cada um dos espaçamentos estudados. Destas, foram retiradas cinco subamostras, que foram colocadas em estufa regulada a 105 ± 3 °C até a estabilização da massa e, em seguida, submetidas ao processo de pirólise até a temperatura máxima de 700 °C. O carvão vegetal foi produzido dentro de um cadinho metálico

que, por sua vez, foi acondicionado dentro de um forno do tipo mufla, devidamente adaptado para a pirólise de matérias-primas lenhosas. Durante as destilações, os vapores liberados foram condensados e quantificados.

Os gases incondensáveis, com alguns constituintes inflamáveis na sua composição, foram queimados na saída do sistema de arrefecimento. De posse das massas de cada um dos produtos, foram obtidos os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, em líquido pirolenhoso e em gases incondensáveis.

Com o carvão obtido após a pirólise dos materiais lenhosos provenientes das plantas de cada espaçamento de plantio, foram retiradas cinco amostras para a realização da análise química do carvão. As amostras de carvão foram separadas, maceradas e peneiradas em malha de 40 e de 60 mesh. O material que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retido na peneira de 60 mesh foi colocado no interior de uma estufa regulada a 105 ± 3 °C, por aproximadamente 48 horas. Amostras de 1 g de carvão foram utilizadas no decorrer da análise química do mesmo. Foram determinados os teores de materiais voláteis, de cinza e de carbono no carvão, com base na metodologia proposta por Oliveira et al. (1982), derivada da norma ASTM D-1762-64 (1997).

2.5. Análise dos dados

O modelo de Schumacher (1939), na forma linear ($\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 + \varepsilon_i$), foi ajustado para estimar o crescimento em altura das árvores de cinamomo em função da idade. A qualidade do ajuste deste modelo foi avaliada por meio do coeficiente de determinação ajustado. As equações geradas em cada tratamento foram comparadas por meio do teste de identidade de modelos no nível de 5% de probabilidade (Graybill, 1976). Os dados de diâmetro no nível do solo e a projeção de copa foram avaliados por meio do desvio padrão e do intervalo de confiança. Para a análise da biomassa, da densidade básica da madeira e dos parâmetros de pirólise da madeira e da análise química do carvão, foi aplicado o teste *t* de Student pareado, no nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Crescimento das plantas nos diferentes espaçamentos

O crescimento em altura total das árvores de cinamomo para os diferentes espaçamentos foram diferentes ($p < 0,05$), ao longo da idade (Figura 1). As equações que permitem estimar o crescimento em altura das árvores de cinamomo estão representadas na Tabela 1.

Observa-se crescimento diferenciado em altura total de plantas de cinamomo nos diferentes espaçamentos utilizados. No espaçamento mais amplo (3×2 m), as plantas apresentaram maior taxa de crescimento ao longo da idade, devido, provavelmente, ao maior espaço útil para as plantas crescerem e à menor competição entre elas. À medida que a área útil de crescimento da planta foi reduzida, o crescimento em altura das árvores de cinamomo foi menor, possivelmente pela antecipação na competição entre plantas promovida pelo aumento na densidade de plantio. No crescimento de espécies florestais, tanto em condições naturais como em plantios, normalmente, em relação ao diâmetro, a altura é a primeira variável a estagnar, sendo o crescimento inicialmente linear, evoluindo para um padrão logarítmico com o passar dos anos (Clarke, 1975; Smith & Strub, 1991). Diversos autores observaram crescimento similar da altura total em

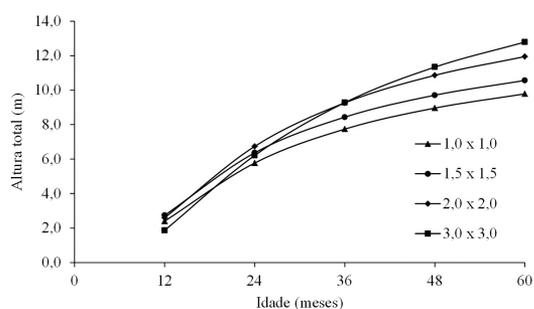


Figura 1. Crescimento anual médio em altura de *Melia azedarach* L., ao longo de cinco anos, em diferentes espaçamentos de plantio, na UTE *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica-RJ.

Figure 1. Mean annual growth in height of *Melia azedarach* L., over five years, in different planting spacings, in the Thermoelectric Power Plant *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica – RJ.

Tabela 1. Equações de crescimento em altura de *Melia azedarach* L., ao longo de cinco anos, em diferentes espaçamentos de plantio, na UTE *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica-RJ.

Table 1. Equations for the height growth of *Melia azedarach* L., in different planting spacings, in the Thermoelectric Power Plant *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica-RJ.

Espaçamento (m)	Equação	R ² ajustado
1,0 × 1,0	$\text{LnHt} = 2,6320 - 21,0834 \cdot I^{-1}$	0,7170
1,5 × 1,5	$\text{LnHt} = 2,6945 - 20,2400 \cdot I^{-1}$	0,6491
2,0 × 2,0	$\text{LnHt} = 2,8619 - 22,8930 \cdot I^{-1}$	0,7298
3,0 × 2,0	$\text{LnHt} = 3,0295 - 28,8670 \cdot I^{-1}$	0,8027

Ht = altura total (m) e I = Idade (anos).

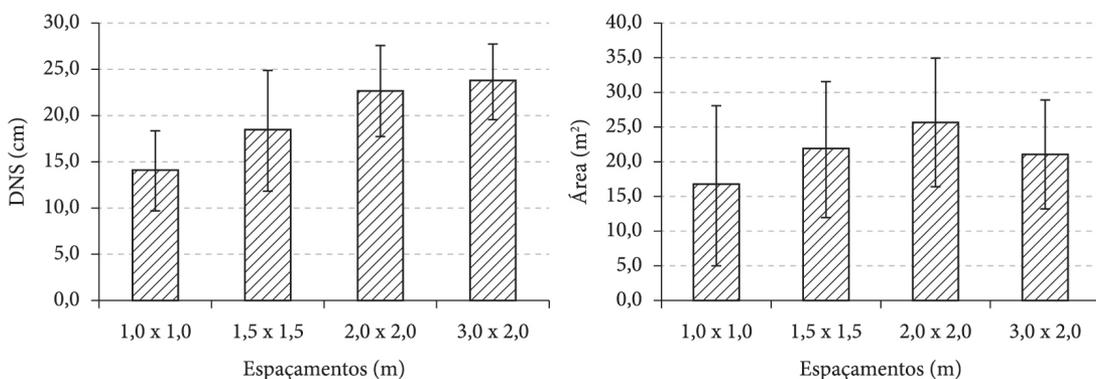


Figura 2. Valores médios e intervalo de confiança para o diâmetro no nível do solo (DNS) e a área de copa de *Melia azedarach* L., em diferentes espaçamentos de plantio, aos cinco anos de idade, na UTE *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica-RJ.

Figure 2. Mean values of growth in diameter at ground level (DNS) and crown area of *Melia azedarach* L., in different planting spacings, in the Thermoelectric Power Plant *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica - RJ.

diferentes espaçamentos, tanto nos povoamentos florestais com fins econômicos (Balloni & Simões, 1980; Smith & Strub, 1991; Leles, et al. 1998) como naqueles com fim de recuperação ambiental (Leles et al., 2011; Nascimento et al., 2012).

Avaliando-se o crescimento em altura do cinamomo no município de Quedas do Iguaçu, Paraná, aos 12 meses após o plantio, Carvalho et al. (1987) encontraram valor médio de 2,4 m, no espaçamento 3 × 3 m. Aos 12 e 24 meses após o plantio, em Palwal, Índia, Toky et al. (2011) observaram para o cinamomo alturas, respectivamente, de 1,17 e 3,15 m, em espaçamento de 2 × 2 m. Comparando-se estes valores com os deste trabalho, é possível inferir que o cinamomo apresentou crescimento considerado razoável, sendo possível atestar o potencial da espécie para plantio na região da Baixada Fluminense, Estado do Rio de Janeiro, onde as condições edafoclimáticas são semelhantes ao sítio deste experimento.

Com relação às variáveis área de copa e diâmetro no nível do solo (DNS), avaliadas aos cinco anos após o plantio, verificou-se variação relativamente grande entre os dados, sendo observadas diferenças significativas apenas para os valores médios de DNS entre os espaçamentos 1,0 × 1,0 m e 3,0 × 2,0 m, através da análise do intervalo de confiança (Figura 2).

Os valores médios observados para área de copa foram muito semelhantes entre os espaçamentos de plantio, sendo bem inferior apenas das plantas de cinamomo do espaçamento 1 × 1 m. Além da grande variação observada entre os dados, uma provável explicação para tal resultado pode ser atribuída a uma condição observada em campo, na qual, aos cinco anos após o plantio, para todos os espaçamentos, o solo apresentava-se recoberto e com sobreposição de copas de diferentes plantas.

O fato de o trabalho ter sido desenvolvido em um povoamento misto deve ser considerado na

análise dos presentes dados, pois as espécies não eram as mesmas em torno dos diferentes indivíduos de cinamomo avaliados. Deve-se considerar que o cinamomo, por ser uma das espécies de maior crescimento e rusticidade, pode ter se favorecido competitivamente, independentemente do espaçamento utilizado. Em povoamento puro, é provável que o cinamomo apresente taxa de crescimento diferente, pois as plantas de uma mesma espécie (competição intraespecífica) possuem as mesmas exigências e o mesmo padrão de crescimento. Dessa forma, competem pelos mesmos recursos, diferentemente do que ocorre na competição interespecífica, na qual espécies diferentes normalmente possuem exigências e padrões de crescimento diferentes (Zanine & Santos, 2004).

3.2. Produção de biomassa

Considerando-se a biomassa do cinamomo, observa-se que, para todas as partes das plantas, houve diferenças significativas entre os espaçamentos (Tabela 2). Constata-se também que, nesta idade de cinco anos, no sítio onde foi realizado este experimento, é no tronco que está alocada a maior parte da biomassa da parte aérea.

O padrão observado foi semelhante entre as plantas de cinamomo, nos espaçamentos, para galhos, tronco, total e carbono total, sendo os maiores valores encontrados no espaçamento 2,0 × 2,0 m, que difere estatisticamente dos espaçamentos mais densos (1,0 × 1,0 m e 1,5 × 1,5 m) e do 3,0 × 2,0 m, considerado este como um espaçamento

intermediário, não diferindo dos outros. Apenas para a variável folha, esse padrão foi diferente, em que o 3,0 × 2,0 m apresentou valores significativamente maiores do que os do 1,0 × 1,0 m, sendo os valores dos demais espaçamentos (1,5 × 1,5 m e 2,0 × 2,0 m) intermediários, não diferindo entre os demais.

As maiores proporções relacionadas aos dados de crescimento observados nos maiores espaçamentos em relação aos menores (Figura 1 e Tabela 1) corroboram com os resultados observados para biomassa (Tabela 2). No entanto, os maiores valores de biomassa foram observados no espaçamento 2,0 × 2,0 m, diferentemente do que se verificou para os dados de crescimento, sendo no 3,0 × 2,0 m observados os maiores valores. Essa diferença verificada entre os dados de crescimento e de biomassa da parte aérea deve-se, provavelmente, à dificuldade de se amostrarem árvores médias de cinamomo do povoamento, mesmo com todos os cuidados de amostragem descritos na metodologia, conforme evidenciado pelos valores de coeficiente de variação relativamente altos.

3.3. Características da madeira para a produção de carvão

Os valores médios encontrados para a densidade básica da madeira de cinamomo foram 0,49 g cm⁻³ no espaçamento 1 × 1 m e 0,46 g cm⁻³ no espaçamento 3 × 2 m, sendo que o teste t (P < 0,05) mostrou que não houve diferenças significativas entre estes valores.

Conforme Andrade et al. (1989) e Andrade & Carvalho (1998), para fins energéticos, quanto maior

Tabela 2. Valores médios de biomassa de diferentes partes vegetais e de carbono fixado em árvores de *Melia azedarach* L. aos cinco anos após o plantio, em diferentes espaçamentos na UTE *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica-RJ.

Table 2. Mean values of the biomass of different vegetable parts and carbon content in trees of *Melia azedarach* L. with five years old, in different planting spacings, in the Thermoelectric Power Plant *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica-RJ.

Espaçamento (m)	Folhas	Galhos	Tronco kg / árvore	Total	Carbono total*
1,0 × 1,0	1,16 b	7,00 b	23,24 c	31,41 b	14,76 c
1,5 × 1,5	2,73 ab	9,89 b	26,46 c	39,09 b	18,37 c
2,0 × 2,0	3,65 ab	23,25 a	63,04 a	89,94 a	42,27 a
3,0 × 2,0	4,13 a	21,60 a	43,61 b	69,35 ab	32,59 b
CV** (%)	34,4	33,3	32,1	30,5	29,6

*Calculado a partir do valor de 47%, média dos teores de carbono nos diferentes componentes, com base em informações de Lisboa (2010). **Intervalo de confiança. Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente (p < 0,05), pelo teste t.

for a densidade básica da madeira, melhor, ou seja, uma maior massa de material orgânico por unidade de volume estará sendo transformada em carbono concentrado. Portanto, se forem consideradas apenas as densidades básicas em termos absolutos, a madeira dos dois espaçamentos possuem o mesmo potencial energético, visto que não há diferença significativa dos valores de densidade entre os espaçamentos.

Com relação à pirólise da madeira, não houve diferença significativa entre os valores médios do rendimento gravimétrico em carvão (RGR). Quanto ao rendimento de gases condensáveis (RGC), maiores valores foram encontrados para o espaçamento 3 × 2 m; e, no rendimento de gases incondensáveis (RGI), observou-se a situação oposta, com maiores valores sendo observados no 1,0 × 1,0 m (Tabela 3). Constataram-se, em geral, baixos valores de coeficiente de variação, devido, provavelmente, a esta etapa acontecer em condições mais controladas (laboratório).

Observa-se que a pirólise da madeira sob a temperatura máxima de carbonização de 700 °C, que é relativamente alta, resultou, em rendimentos gravimétricos, em carvão vegetal abaixo da média, conforme também foi verificado por Andrade et al. (1994) e Nogueira et al. (2000). Machado et al. (2007), utilizando a temperatura máxima de pirólise de 600 °C para *E. grandis*, encontraram valores próximos aos do presente trabalho. Segundo os mesmos autores, à medida que se aumenta a temperatura máxima de pirólise, os valores médios

dos rendimentos gravimétricos em carvão tendem a diminuir, confirmando as considerações de Andrade et al. (1989).

Trugilho & Silva (2001), estudando a influência da temperatura final na carbonização de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), encontraram valores superiores no rendimento gravimétrico em carvão (RGR), em comparação com os rendimentos do cinamomo neste trabalho. Tal fato pode derivar de diferenças entre os teores de lignina das espécies ou entre as densidades básicas das mesmas, uma vez que tais fatores são preponderantes para a produção de carvão vegetal.

A análise química dos carvões demonstrou que, para a espécie em questão, não houve diferença entre o carvão gerado a partir da madeira dos dois espaçamentos.

Em relação ao teor de cinza, segundo Andrade et al. (1994), mantendo-se as demais condições, há uma inclinação ao aumento desta variável à medida que se diminui o rendimento gravimétrico em carvão. Valores semelhantes foram encontrados por Machado et al. (2007) para madeiras de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), leucena (*Leucaena leucocephala*) e pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). Para Vale et al. (2011), o conhecimento da composição química do carvão é importante para a escolha da biomassa para fins energéticos, uma vez que a mesma tem uma grande influência sobre o seu poder calorífico.

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros observados após a pirólise da madeira à temperatura de 700 °C e análise química do carvão de *Melia azedarach* L., com cinco anos de idade, implantados em diferentes espaçamentos de plantio, na UTE *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica-RJ.

Table 3. Mean values of parameters observed after the pyrolysis of the wood at 700 °C and chemical analysis of charcoal of *Melia azedarach* L., with five years old, in different planting spacings, in the Thermoelectric Power Plant *Barbosa Lima Sobrinho*, Seropédica-RJ.

	Parâmetro (%)	1 × 1 m	3 × 2 m	Coefficiente de variação (%)
Pirólise da madeira	RGR	24,34 a	24,57 a	1,5
	RGC	40,32 b	41,89 a	3,0
	RGI	35,33 a	33,53 b	3,7
Análise química do carvão	TMV	11,25 a	11,75 a	9,3
	TCZ	1,75 a	2,50 a	23,0
	TCF	87,00 a	85,75 a	2,9
	RCF	21,12 a	20,94 a	5,4

RGR = rendimento em carvão; RGC = rendimento em gases condensáveis; RGI = rendimento em gases incondensáveis; TMV = teor de matérias voláteis; TCZ = teor de cinza; TCF = teor de carbono fixo; RCF = rendimento em carbono fixo. Médias seguidas da mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente ($p < 0,05$), pelo teste t.

Embora não tenha sido observada diferença estatística, o maior teor de carbono fixo ocorreu no carvão do espaçamento $1,0 \times 1,0$ m, justamente no tratamento com menor teor de matérias voláteis, as quais, provavelmente, foram liberadas no processo de carbonização propriamente dito.

Os rendimentos em carbono fixo, produto dos respectivos rendimentos em carvão e do teor de carbono fixo, apresentaram valores médios distribuídos num pequeno intervalo de 21,23% a 21,38%. Para Andrade et al. (1989), o rendimento em carbono fixo é um dos parâmetros que melhor expressam a qualidade da matéria-prima lenhosa para a produção de carvão vegetal. Quanto maior for o rendimento em carbono fixo, melhor será a qualidade da biomassa para fins energéticos. Em relação ao rendimento em carbono fixo, também não ocorreram diferenças estatísticas significativas entre os espaçamentos.

4. CONCLUSÃO

Aos cinco anos após o plantio, o cinamomo apresentou maior crescimento em altura e diâmetro no nível do solo no espaçamento 3×2 m. A maior produção de biomassa ocorreu nos espaçamentos mais amplos (2×2 m e 3×2 m).

A madeira do cinamomo é considerada adequada para a produção de carvão vegetal, não tendo sido verificadas diferenças para as características tecnológicas e energéticas da madeira entre os espaçamentos 1×1 m e 3×2 m.

STATUS DE SUBMISSÃO

Recebido: 25 jul., 2012

Aceito: 12 mar., 2014

Publicado: 30 jun., 2014

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Paulo Sérgio dos Santos Leles

Departamento de Silvicultura, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil
e-mail: pleles@ufrrj.br

REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials - ASTM. *D-1762-64: Standard method for chemical analyses of wood charcol*. Phyladelphia: ASTM; 1977. 1042 p.
- Andrade AM, Carvalho LM. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. *Floresta e Ambiente* 1998; 5(1): 24-42.
- Andrade AM, Vital BR, Barros NF, Della Lucia RM, Campos JCC, Valente OF. Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade do carvão vegetal. *Revista Árvore* 1994; 18(1): 63-68.
- Andrade AM, Vital BR, Valente OF. Influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. *Revista do IPEF* 1989; 41-42(1): 44-49.
- Araújo SAC, Teixeira MFS, Dantas TMV, Melo VSP, Lima FES, Ricarte ARF et al. Usos potenciais de *Melia azedarach* L. (Meliaceae): um levantamento. *Arquivos do Instituto Biológico* 2009; 76(1): 141-148.
- Balloni EA, Simões JW. *O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais*. Piracicaba; 1980. Série Técnica IPEF.
- Benitez CG, Pece M, Galíndez MJ, Ríos N. Estimación del crecimiento y producción de una plantación de paraíso gigante (*Melia azedarach* var. *gigantea*) sin riego en la Provincia de Santiago del Estero. *Quebracho Revista de Ciencias Forestales* 2002; 9: 127-140.
- Carvalho PER, Vianna Neto JAA, Dalmas I. *Comparação entre essências florestais nativas e exóticas em Quedas do Iguacu, PR – resultados preliminares*. Curitiba: Embrapa Florestas; 1987. Circular Técnica n. 15.
- Clarke GL. *Elementos de ecologia*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.; 1975.
- Dallagnol FS, Mognon F, Sanquetta CR, Corte APD. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. *Floresta e Ambiente* 2011; 18(4): 410-416. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.060>
- El-Juhany LI. Evaluation of some wood quality measures of eight-year-old *Melia azedarach* trees. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 2011; 35(2): 165-171.
- Evans P, Rombold J. Paraíso (*Melia azedarach* var. "Gigante") woodlots: an agroforestry alternative for the small farmer in Paraguay. *Agroforestry System* 1984; 2: 199-214. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00147034>
- Furtini Neto AE, Siqueira, JO, Curi, N, Moreira, FMS. Fertilização em reflorestamentos com espécies nativas. In: Gonçalves JLM, Benedetti V, editores. *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000.
- Graybill FA. Theory and application of the linear model. Belmont: Duxbury Press; 1976.
- Guiselini C, Silva IJO, Piedade SM. Avaliação da qualidade do sombreamento arbóreo no meio rural. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 1999; 3(3): 380-384.

- Hoppe JM, Schneider PR, Dallago JS. Avaliação Silvicultural da *Melia azedarach* L. em função do tamanho dos frutos. *Ciência florestal* 1991; 01(1): 76-87.
- Huang RC, Okamura H, Iwagawa T, Tadera K, Nakatani M. Azedarachin C, a limonoid antifeedant from *Melia azedarach*. *Phytochemistry* 1995; 38(3): 593-594. [http://dx.doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)00707-Z](http://dx.doi.org/10.1016/0031-9422(94)00707-Z)
- Kasusya, P. Combating desertification in northern Kenya (Samburu) through community action: a community case experience. *Journal of Arid Environments* 1998; 39(2): 325-329. <http://dx.doi.org/10.1006/jare.1998.0393>
- Leles PSS, Reis GG, Reis NGF, Morais EJ. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. *Revista Árvore* 1998; 22(1): 41-50.
- Leles PSS, Abaurre GW, Alonso JM, Nascimento DF, Lisboa AC. Crescimento de espécies arbóreas sob diferentes espaçamentos em plantio de recomposição florestal. *Scientia Forestalis* 2011; 39(90): 231-239.
- Leles PSS, Oliveira Neto SN, Alonso JM. Restauração florestal em diferentes espaçamentos. In: Leles PSS, Oliveira Neto SN, editores. *Recomposição Florestal da Bacia do Rio Guandu*. Seropédica: Editora Rural; 2013.
- Lima IL, Florsheim SMB, Longui EL. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. *Cerne* 2009; 15(2): 244-250.
- Lisboa AC. *Estoque de carbono em área de recomposição florestal com diferentes espaçamentos de plantio* [dissertação]. Seropédica, RJ: Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2010.
- Lorenzi H. *Árvores exóticas no Brasil: Madeiras, ornamentais e aromáticas*. Editora Plantarum; 2003.
- Machado TFF, Silva AP, Andrade AM. Análise das potencialidades energéticas das madeiras de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), leucena (*Leucaena leucocephala*) e pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). In: *Anais da XVII Jornada de Iniciação Científica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*; 2007; Seropédica. Seropédica: UFRRJ; 2007.
- Migliorini AJ, Brito JO, Barrichelo LEG. *Influência das práticas silviculturais na produção de carvão vegetal*. Piracicaba: Circular técnica IPEF; 1980.
- Nascimento DF, Leles PSS, Oliveira Neto SN, Moreira RTS, Alonso JM. Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. *Cerne* 2012; 18(1): 159-165. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000100019>
- Nogueira LAH, Lora EES, Trossero MA, Frisk T. *Dendroenergia: fundamentos e aplicações*. 2. ed. Brasília: Editora Interciência; 2000.
- Oliveira JB, Gomes PA, Almeida MR. Propriedades do carvão vegetal. In: Penedo WR. *Carvão vegetal*. Belo Horizonte: CETEC; 1982.
- Piña-Rodrigues FCM, Lopes LR, Marques S. Sistema de plantio adensado para revegetação de áreas degradadas da Mata Atlântica: bases ecológicas e comparações de estudo / benefício com o sistema tradicional. *Floresta e Ambiente* 1997; 4: 30-41.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LH, Oliveira VA, Oliveira JB, Coelho MR, et al. *Sistema brasileiro de classificação dos solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2006.
- Schumacher, FX. A new growth curve and its application to timber-yield studies. *Journal of forestry* 1939; 37(4): 819-820.
- Smith WD, Strub MR. Initial spacing: how many trees to plant. In: Duyea ML, Doughert PM. *Forest Regeneration Manual*. Netherland: Kluwer Academic Publishers; 1991. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-3800-0_15
- Toky OP, Black DR, Harris PJC, Vasudevan P, Davies PA. Biomass production in short rotation effluent-irrigated plantations in North-West India. *Journal of Scientific & Industrial Research* 2011; 70(1): 601-609.
- Trugilho PF, Silva DA. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). *Scientia Agraria* 2001; 2(1): 45-53.
- Vale AT, Mendes RM, Amorim MRS, Dantas, VFS. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). *Cerne* 2011; 17(2): 267-273.
- Venson I, Gúzman JAS, Talavera FJE, Richter HG. Biological, physical and mechanical wood properties of paraíso (*Melia azedarach*) from a roadside planting at Huaxtla, Jalisco, Mexico. *Journal of Tropical Forest Science* 2008; 20(1): 38-47.
- Villa, EB. *Aspectos silviculturais e ecológicos em área de restauração florestal com diferentes espaçamentos de plantio* [tese]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2012.
- Vital BR. *Métodos de determinação da densidade da madeira*. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais; 1984.
- Zanine AM, Santos ED. Competição entre espécies de plantas - uma revisão. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia* 2004; 11(1): 10-30.