

RELAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit

ALLOMETRIC RELATIONSHIPS IN *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit

Valdemir Aleixo¹ Ubirajara Contro Malavasi² Natalino Calegário³
Marlene de Matos Malavasi⁴ Eurides Küster Macedo Júnior⁵

RESUMO

Ecossistemas florestais são responsáveis pelo maior acúmulo de carbono da biosfera terrestre. A quantificação da biomassa para espécies florestais vem contribuir com informações diretas sobre seu potencial para o sequestro do carbono atmosférico. O ensaio objetivou ajustar equações que permitam estimar a biomassa aérea e subterrânea de *Leucaena Leucocephala* (Lam.) De Wit por meio do método direto. Para estimar a potencialidade da *Leucaena leucocephala* na fixação do carbono, foi utilizado o fator de conversão 0,5. Do total da biomassa e do carbono em indivíduos de *Leucaena leucocephala*, 24% correspondem ao sistema radicular e 76% correspondem ao sistema aéreo. De forma geral, a biomassa total apresentou a distribuição: fuste > galhos vivos > raízes > folhas. O modelo linear com transformação logarítmica utilizando CAP variável independente foi estatisticamente significativa para estimar biomassa seca total.

Palavras-chave: alometria; quantificação de carbono; sequestro de carbono; modelo para biomassa.

ABSTRACT

The objective of this study was to calculate simple allometric equations in order to estimate above and below ground dry biomass from *Leucaena leucocephala* individuals. Results indicated that biomass components show the following pattern: stem > branches > roots > leaves. Independently from individual size, 24 % of total sampled dry biomass was located below-ground, and 76 % above-ground. Log transformed linear equations using CBH (circumference at breast height) as independent variable was statistically significant ($P < 0.05$) to estimate leucaena total dry biomass.

Keywords: allometry; biomass quantification; carbon sequestration; biomass models.

INTRODUÇÃO

Originária da América Central, *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit é uma leguminosa perene de crescimento rápido. A leucena foi amplamente dispersada pela sua versatilidade na produção de forragem, madeira, carvão vegetal e no melhoramento do solo (EMBRAPA, 2006). Para Lima e Evangelista (2006), a leucena tem recebido atenção de pesquisadores por causa dessa diversidade de usos sendo uma opção para o plantio nos trópicos em função da sua boa produtividade. As mais conhecidas variedades de leucenas são a salvadorena, a peruana e a havaiana.

Atualmente, a rápida dispersão da leucena tem motivado discussões. Sua presença e seu rápido desenvolvimento interferem nos ecossistemas e florestas naturais, impedindo o recrutamento de novas espécies e alterando o processo de sucessão vegetal (SIQUEIRA, 2002). No entanto, o rápido crescimento da espécie pode auxiliar em restaurações de áreas degradadas, controle da erosão, melhoria da fertilidade do solo e na fixação do CO₂ atmosférico.

Conforme Balteiro e Romero (2003) e Nishi (2003), a quantificação da biomassa possui paralelismo com a estimativa de carbono fixado pelos vegetais. Contribui com informações e dados, diante das preocupações ambientais como o aumento do CO₂ na atmosfera e as possibilidades de retorno econômico por

1. Biólogo, MSc., Professor de Gestão Ambiental, Faculdade Luterana Rui Barbosa, Dom Pedro, 1151, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon (PR). aleixo.valdemir@hotmail.com
2. Eng. Florestal, Dr., Professor do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon (PR). umala@unioeste.br
3. Eng. Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG).
4. Eng^a. Agrônoma, Dr^a., Professora do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon (PR). malavasi@unioeste.br
5. Eng. Agrônomo, Dr., Professor do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon (PR). kuster@unioeste.br

Recebido para publicação em 4/06/2007 e aceito em 11/08/2008.

meio da comercialização dos Créditos de Carbono ou Certificados de Emissões Reduzidas (CER) previstos no Tratado de Kyoto, e no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo com o cultivo e conservação de espécies florestais.

Os ecossistemas florestais contêm a maior parte do carbono terrestre global, pois acumulam, nos componentes vegetais e no solo, mais carbono do que existe atualmente na atmosfera (DIXON *et al.*, 1994). A quantificação da biomassa em *Acacia mearnsii* De Wild (acácia-negra) por Barichello *et al.* (2005) apontou que mais de 60% da biomassa total está localizada na madeira, e que a biomassa abaixo do solo pode chegar a 12% da biomassa total.

O objetivo do ensaio foi o de ajustar relações alométricas entre os componentes estruturais – raízes, fuste, galhos, folhas, sementes e inflorescências – em *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit para estimar a quantidade biomassa e de carbono nestes.

MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de informações foi realizada de janeiro a fevereiro de 2005 no município de Marechal Cândido Rondon, PR, em uma área com coordenadas geográficas de 24° 33' 40'' Sul e 54° 04' 12'' Oeste, a 420 metros de altitude. O clima é caracterizado como subtropical úmido, recebendo a classificação Cfa (Köppen) com verões quentes, geadas pouco frequentes, e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão. A estação seca não é definida, com precipitação média anual de 1.500 mm, e umidade média anual de 80%. A temperatura média anual é de 21°C, com máxima de 28°C, e mínima de 15°C.

A área situa-se no entorno de um complexo industrial onde foram plantadas aleatoriamente mudas de *Tabebuia avellanedae* Lorentl ex Giriseb, *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex R. Br., *Eucalyptus* sp., *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barweby e *Delonix regia* (Boser ex Hook) Raf. a partir de 1998. A proximidade com uma área de proteção ambiental predominantemente composta por leucenas resultou na dispersão daquela espécie para a área em tela que hoje se constitui em um grande leucenal. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (Lvef), com saturação por bases altas ($V \geq 50\%$), e teores de Fe_2O_3 entre 18 a 36% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 1999).

O ensaio utilizou uma área total de 11.050 m² (65 m x 170 m), com uma bordadura de 10 m. A área foi dividida em 15 parcelas de 450 m² (15 m x 30 m). Para a amostragem, foram selecionados três grupos com diferentes tamanhos para os indivíduos (árvores), cada um com cinco repetições, e dois indivíduos amostrados por repetição, totalizando trinta indivíduos abatidos e analisados. A divisão da área em parcelas acima descritas se justifica pela diversidade dimensional que leucenas apresentam na área experimental.

Foram encontradas, neste ensaio, árvores de leucena, com a circunferência à altura do peito (CAP) compreendida entre 4 e 47 cm. No grupo um (G1), os indivíduos amostrados apresentaram dimensões da CAP entre 0,01 e 15 cm. No grupo dois (G2), os indivíduos amostrados apresentaram dimensões da CAP entre 15,01 e 30 cm. No grupo três (G3), os indivíduos amostrados apresentaram dimensões da CAP acima de 30,01 cm.

O método para a realização deste ensaio, segundo Santos *et al.* (2004), é direto, ou seja, destrutivo, com o abate total das árvores selecionadas para a retirada das amostras – raízes, fuste (caule a 10 cm acima do solo até a primeira bifurcação significativa), galhos vivos e mortos, folhas, sementes e inflorescências.

A estimativa da densidade populacional do leucenal utilizou 15 subparcelas de 1 m² e contagem de todos os indivíduos, independente da CAP. A cada uma das 15 parcelas foi aleatoriamente designado um intervalo de CAP para a seleção dos indivíduos a serem abatidos. A amostragem evitou a seleção de dois indivíduos próximos (distância mínima de 5 m entre indivíduos), selecionados indivíduos que se enquadrassem nas dimensões específicas para o grupo representado na parcela, conforme Fontes (1999).

Os grupos foram formados em função da distribuição diamétrica obtida no leucenal, e que possuísem CAP entre 5,8–10,6 cm, 17,7–24,1 cm, e 30,9–38,1 cm para o limite inferior e superior, respectivamente. Após a escolha, a CAP foi conferida com auxílio de fita métrica. A altura total (HT) e a altura do fuste (HF) foram estimadas com auxílio de um clinômetro conforme metodologia proposta por Finger (1992). O abate de cada indivíduo foi executado a 10 cm acima do solo. Cada árvore foi separada em componente subterrâneo (raízes) e componente aéreo (fuste, galhos, folhas, sementes e inflorescências).

A obtenção da biomassa fresca das raízes seguiu a metodologia proposta por Barichello *et al.* (2005) com a demarcação de área útil para cada árvore de 1 m x 1 m, e a escavação feita até 50 cm de profundidade com a separação manual das raízes. Nos trinta indivíduos abatidos, as raízes foram amostradas e pesadas a campo com balança de prato (± 50 g). Uma subamostra de 10% do peso fresco total foi utilizada para estimativa da biomassa seca.

Para a estimativa da biomassa aérea, cada indivíduo, depois de abatido, foi seccionado nos componentes fuste, galhos vivos, folhas, sementes e inflorescências. O fuste foi separado em seções de 1 m de comprimento. De cada seção, um disco de madeira com casca de 5,0 cm de espessura foi obtido da extremidade basal, e pesado com balança de prato (± 50 g). Cada indivíduo amostrado foi desgalhado, e todos seus galhos foram pesados com balança de prato. Do conjunto dos galhos, foram retirados fragmentos com diferentes tamanhos os quais foram misturados, formando-se uma amostra composta. Desta, retirou-se uma subamostra de 10% do peso fresco total para determinação da biomassa seca. As folhas foram pesadas a campo para obtenção da biomassa verde, e uma amostra de 10% do peso serviu para determinação da biomassa seca.

A baixa incidência e a pequena contribuição de galhos mortos, sementes e inflorescências nas estimativas das biomassas dos outros componentes vegetais, influenciaram na decisão da não-inclusão daqueles no estudo das relações alométricas. No entanto, deve-se lembrar que a presença de sementes e inflorescências em leucena é freqüente em quase todos os meses do ano (DALMOLIN, 2005; SIQUEIRA, 2002; PRIMAVESI *et al.*, 1994).

As amostras dos componentes vegetais selecionados foram imediatamente transportadas ao laboratório e pesadas em balança analítica ($\pm 0,1$ g) para determinação da biomassa verde, não havendo perda de umidade significativa entre o período a campo e no laboratório. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel identificados, levadas à estufa com ventilação forçada de ar (65°C) por 72 horas para folhas, e até peso constante para as raízes, fuste, e galhos. A biomassa das raízes, do fuste, dos galhos vivos e das folhas foi obtida de acordo com a expressão (SOARES e OLIVEIRA, 2002):

$$PST = \frac{PUT * PSA}{PUA}$$

Em que: PST = peso seco total das raízes, do fuste, dos galhos vivos ou das folhas, em gramas; PUT = peso úmido total das raízes, do fuste, dos galhos vivos ou das folhas no campo, em gramas; PSA = peso seco da amostra das raízes, do fuste, dos galhos vivos ou das folhas, em gramas; PUA = peso úmido da amostra das raízes, do fuste, dos galhos vivos ou das folhas em gramas.

Para avaliar a correlação entre as variáveis independentes (altura total – HT, altura total do fuste – HTF, e circunferência à altura do peito – CAP) e as variáveis dependentes (biomassa total, composta por raízes, fuste, galhos vivos e folhas – BT, biomassa das raízes – BRS, biomassa do fuste – BF, biomassa dos galhos vivos – BG, biomassa das folhas – BFL, e biomassa aérea, composta por biomassa do fuste, biomassa dos galhos vivos e biomassa das folhas – BA) uma matriz de correlação foi computada (LAPPONI, 2000; SCOLFORO, 1997).

Os dados das variáveis foram submetidos à análise estatística exploratória de Regressão Linear com a utilização do programa estatístico *MINITAB INC*™ 14.0, com ajustes de equações para avaliar as relações alométricas. Segundo Scolforo (1997), uma regressão é considerada como linear quando, associada à variável dependente, existe uma ou mais variáveis independentes. Ainda segundo esse mesmo autor, o conhecimento das relações existentes entre as variáveis e sua pré-seleção servem de subsídios para a montagem do modelo que objetiva descrever as relações entre as variáveis dependentes e independentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade populacional amostrada nas subparcelas variou de um a 11 indivíduos (Tabela 1) e resultou na estimativa de 450 a 4.950 indivíduos na parcela de 450 metros quadrados. As leucenas localizadas em parcelas de menor densidade apresentaram maior CAP. O número de indivíduos por unidade de área tem fundamental importância para o desenvolvimento individual de cada árvore, pois a competição existente é grande, e certamente existirá grande diferencial no desenvolvimento e no acúmulo de biomassa.

Para a avaliação das variáveis independentes e das variáveis dependentes, mesmo com a grande

variância dos dados, a matriz demonstrou uma correlação positiva, confirmada pela realização da análise de regressão linear que demonstrou normalidade entre os dados. As variáveis biomassa do fuste – BF, biomassa dos galhos vivos – BG, e biomassa das folhas – BFL foram fundamentais para a determinação da biomassa seca total, mas não foram consideradas relevantes às relações alométricas deste trabalho.

TABELA 1: Amostra de indivíduos por parcela (p1.....15) com os respectivos grupos: G1 (CAP entre 5,8–10,5 cm), G2 (CAP entre 17,7–24,1 cm) e G3 (CAP entre 30,9–38,1 cm) para estimativa da densidade populacional da área experimental na Agrícola Horizonte, Marechal Cândido Rondon/PR, 2006.

TABLE 1: Sampling of individuals by plot (p1 to p15) with respective groups G1 (CBH between 5.8 – 10.5 cm), G2 (CBH between 17.7 – 24.1 cm) and G3 (CBH between 30.9 – 38.1 cm) to estimate population density at Agrícola Horizonte, Marechal Cândido Rondon, PR, 2006.

Parcela	Grupo	Número de indivíduos (m ²)	Estimativa proouacional/parcela
1	G1	1	450
2	G2	1	450
3	G2	2	900
4	G1	3	1350
5	G2	2	900
6	G2	3	1350
7	G3	3	1350
8	G3	11	4950
9	G3	9	4050
10	G1	6	2700
11	G1	2	900
12	G2	4	1800
13	G1	10	4500
14	G3	4	1800
15	G3	3	1350
Estimativa populacional da área amostrada			28800

Dentre as variáveis independentes de interesse, a circunferência à altura do peito – CAP apresentou os melhores resultados (Tabela 2) correlacionando-se em 90% com a biomassa das raízes – BRS, e 90,7% com a biomassa total – BT. A variável altura total – HT apresentou uma correlação menor, porém ainda significativa com BRS (66,8%) e com BT (67%).

TABELA 2: Matriz de Correlação entre as variáveis: HT (altura total), HTF (altura total do fuste), CAP (circunferência à altura do peito), BF (biomassa fuste), BG (biomassa galhos vivos), BFL (biomassa folhas), BRS (biomassa radicular ou subterrânea), BA (biomassa aérea, composta por biomassa do fuste, biomassa dos galhos vivos e biomassa das folhas) e BT (biomassa total, composta por biomassa das raízes, biomassa do fuste, biomassa dos galhos vivos e biomassa das folhas).

TABLE 2: Correlation matrix among HT (total height), HTF (total trunk height), CAP (circumference at breast height), BF (trunk biomass), BG (live branches biomass), BFL (leaves biomass), BRS (root biomass), BA (above-ground biomass including trunk, live branches and leaves), and BT (total biomass).

Variáveis	HT	HTF	CAP	BF	BG	BFL	BRS	BA	BT
HT	1								
HTF	0,715	1							
CAP	0,883	0,551	1						
BF	0,804	0,573	0,939	1					
BG	0,529	0,165	0,802	0,748	1				
BFL	0,454	0,181	0,717	0,656	0,934	1			
BRS	0,668	0,341	0,900	0,920	0,931	0,862	1		
BA	0,668	0,337	0,906	0,893	0,966	0,895	0,987	1	
BT	0,670	0,339	0,907	0,901	0,960	0,889	0,992	0,999	1

Previamente foi possível descartar a variável altura total do fuste – HTF por apresentar uma correlação muito baixa variando entre 16,5 e 57%. Esse resultado pode ser explicado pela grande variância da altura do fuste entre os grupos e mesmo dentro deles. Segundo Zárte (1987), para *Leucaena leucocephala* o fuste geralmente é torcido e a bifurcação ocorre em diferentes alturas. A *Leucaena leucocephala* apresenta bifurcação em diferentes tamanhos e idades, alterando, portando, o tamanho do fuste (Tabela 2).

Após a realização das análises estatísticas e para a seleção da melhor equação, foram consideradas: a melhor distribuição dos valores para explicar a variável dependente; os valores mais próximos de 1 para o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}); a simplicidade dos modelos; e os menores valores para a raiz do quadrado médio dos resíduos ou erro (\sqrt{QME}).

Os vários modelos testados enumerados na Tabela 3 objetivam ajustar equações para determinação da biomassa total – BT e da biomassa das raízes – BRS. O primeiro teste, considerando a estimativa da biomassa total – BT, contemplou as melhores variáveis independentes (altura total – HT, altura total do fuste – HTF e circunferência à altura do peito – CAP) apresentadas anteriormente pela matriz de correlação. Neste ensaio, os valores foram significativos para as variáveis altura total – HT e circunferência à altura do peito – CAP com 0,889 para o R^2_{aj} . Eliminando a variável não-significativa (altura total do fuste – HTF) do teste anterior houve um acréscimo no coeficiente de determinação ($R^2_{aj} = 0,891$) para as variáveis altura total – HT e circunferência à altura do peito – CAP; entretanto, o valor para altura total – HT na equação ficou negativo (-79,7). Ajustando a equação somente com CAP o resultado foi significativo, mas não foi satisfatório pois o R^2_{aj} diminuiu para 0,815.

A presença de valores negativos nos três testes descritos acima e os baixos valores para o R^2_{aj} (dificultando portanto, a explicação para os modelos) provavelmente resultam da grande variação nas dimensões existentes entre os indivíduos.

No quarto teste, os dados das variáveis independentes foram transformados em logaritmo natural ou logaritmo neperiano (\ln) objetivando a linearidade dos dados. Observou-se um melhor ajuste para o R^2 (0,936) e valores não significativos para altura total – HT. Excluindo a variável altura total do fuste – HTF, encontrou-se a melhor equação (Tabela 3).

TABELA 3: Comparação das equações alométricas. (BT = biomassa total gramas/árvore, BRS = biomassa das raízes ou subterrânea gramas/árvore, HT = altura total metros, HTF = altura total do fuste metros, CAP = circunferência à altura do peito centímetros, R^2_{aj} = coeficiente de determinação, \ln = logaritmo neperiano e \sqrt{QME} = raiz do quadrado médio do erro).

TABLE 3: Comparison of allometric equations (BT = total biomass grams per tree, BRS = root biomass grams per tree, HT = total height meters, HTF = trunk height meters, CAP = circumference breast height centimeters, R^2_{aj} = coefficient of determination, \ln = natural logarithm, \sqrt{QME} = square root of mean error).

N.	Equação	R^2_{aj}	\sqrt{QME}
1	$BT = 7281,6 - 7207,5*HT - 1308,9*HTF + 4400,7*CAP$	0,889	12240
2	$BT = 6779,1 - 7965,5*HT + 4462,4*CAP$	0,891	12090
3	$BT = -29139,1 + 2832,8*CAP$	0,815	15758
4	$\ln(Bt) = 3,4756 + 0,22*HT - 0,028*HTF + 1,4425*\ln(CAP)$	0,936	0,4031
5	$BT = -83092,2 - 1825,5*HT + 45613,24*\ln(CAP)$	0,566	24790
6	$\ln(BT) = 3,4349 - 0,2046*HT + 1,4603*\ln(CAP)$	0,936	0,3968
7	$BRS = -376 + 23,5*CAP + 0,3038*BA$	0,972	1468

Para equacionar a relação existente entre a biomassa total – BT e as variáveis altura total – HT e circunferência à altura do peito – CAP, ajustou-se o seguinte equação de regressão (modelo n. 6, Tabela 3): $Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i}$, que resultou em $Y_i = 3,4349 - 0,2046x_{1i} + 1,4603x_{2i}$, sendo Y_i = valor observado da variável Y [\ln (BT)] no nível i das variáveis independentes $x_{i's}$; β_0 = constante de regressão; β_1 = coeficiente

de regressão para variável x_1 ; β_2 = coeficiente de regressão para variável x_2 ; x_{1i} = valor do nível de i da variável x_1 (HT) e x_{2i} = valor do nível de i da variável x_2 variável independente [\ln (CAP)].

O modelo de regressão utilizado consegue explicar significativamente a variação dos dados dos diferentes componentes. Isso pode ser evidenciado pelos valores elevados dos coeficientes de determinação ajustados e, ao quadrado médio do erro por serem baixos.

O coeficiente de determinação ajustado neste modelo explica 93,6% das variações. Pela análise de regressão ao nível de 5% de significância, obteve-se $p < 0,05$, indicando ser um modelo adequado. Schneider, citado por Barichello *et al.* (2005), mencionou que o coeficiente de determinação expressa a variação total dos dados explicada pela regressão, selecionando-se a equação que contenha maior coeficiente de determinação ajustado.

Considerando a biomassa total – BT para *Leucaena leucocephala*, conforme pode ser observado na Figura 1, verifica-se que a parte aérea possui 76% da biomassa total das árvores, estando subdividida na seguinte proporção: fuste 48%, galhos vivos 47% e folhas 5%, restando 24% para biomassa subterrânea (Figura 2). Em trabalho realizado por Schumacher e Poggiani (1993) analisando a produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell plantados em Anhembi, SP, o maior percentual de biomassa foi encontrado no tronco. Para *Acacia mearnsii* de Wild aos 8 anos de idade, Barichello *et al.* (2005) apresentaram resultados em que a espécie concentra mais de 60% de sua biomassa na madeira, e a biomassa abaixo do solo representa aproximadamente 12% da biomassa total.

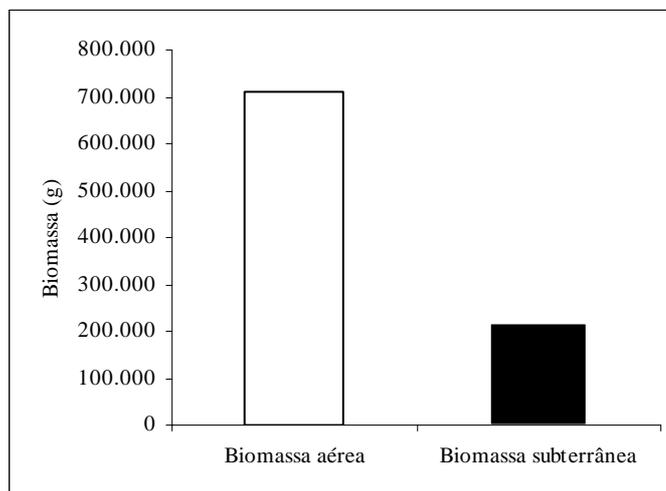


FIGURA 1: Distribuição média da biomassa total (BT), nos componentes: aéreo (composta por biomassa do fuste, biomassa dos galhos vivos e biomassa das folhas) e subterrâneo (composta por biomassa das raízes).

FIGURE 1: Mean distribution of total biomass (BT) into: above-ground biomass (trunk, live branches, and leaves) and below-ground biomass (roots).

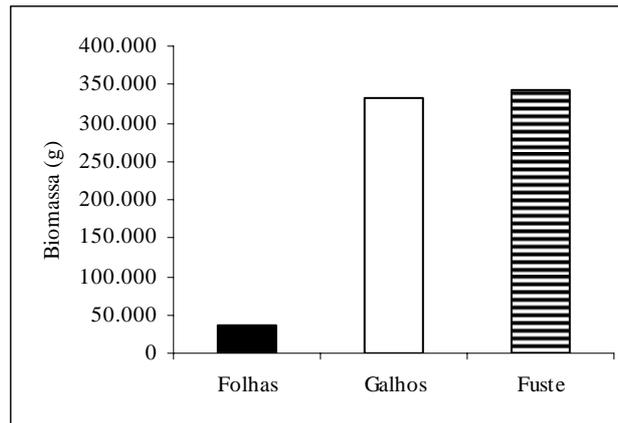


FIGURA 2: Distribuição da biomassa aérea (BA) em folhas, galhos e fuste.

FIGURE 2: Above-ground biomass distribution (BA) in leaves, branches and trunk.

Objetivando encontrar uma relação alométrica para a estimativa da biomassa da parte subterrânea utilizando uma variável de fácil mensuração, como a variável CAP, obteve-se a seguinte equação (modelo n. 7, Tabela 3): $Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i}$, que resultou em $y = -376 + 23,5x_{1i} + 0,3038x_{2i}$ em que, Y_i = valor observado da variável Y (biomassa das raízes – BRS) no nível i das variáveis independentes x_{1i} 's; β_0 = constante de regressão; β_1 = coeficiente de regressão para variável x_1 ; β_2 = coeficiente de regressão para variável x_2 ; x_{1i} = valor do nível de i da variável x_1 (circunferência à altura do peito – CAP); x_{2i} = valor do nível de i da variável x_2 variável independente (biomassa aérea – BA). O modelo explica 97,2% de relação entre as variáveis.

A biomassa subterrânea quantificada correspondeu a 24% da biomassa total. O valor médio quantificado da biomassa subterrânea neste ensaio situa-se entre os reportados por Parrotta (1992), que variaram entre 9 e 48% da biomassa arbórea total.

A quantificação de biomassa de um bosque é um elemento chave para estimar a alocação de carbono em cada componente (Nakama *et al.* 2000). A conversão da biomassa total seca em carbono possui valores médios entre 45 e 51% (NUTTO *et al.*, 2002); optou-se por utilizar o coeficiente igual a 0,5 de acordo com diversos autores (ARACRUZ, 2006; ARACRUZ, 2005; SOARES e OLIVEIRA, 2002; NAKAMA *et al.*, 2000). Esse coeficiente é uma simplificação da variabilidade da concentração de carbono em tecidos vegetais. Para a madeira de espécies florestais da América do Norte o coeficiente varia de 0,4627 a 0,4997 e de 0,4721 a 0,5520, respectivamente para folhosas e coníferas (LAMLON e SAVIDGE, 2003). Outros fatores para conversão da biomassa seca em carbono podem ser encontrados na literatura (SANTOS *et al.*, 2004).

Utilizando o coeficiente acima citado, o estoque de carbono estimado para leucena apresentou a seguinte distribuição: fuste > galhos > raízes > folhas (Figura 3). Os resultados com leucena são similares aos reportados por Tsukamoto Filho *et al.* (2004) em estudo realizado na fixação de carbono em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. Naquele trabalho, a madeira foi o componente da árvore que mais contribuiu para a fixação de carbono no sistema, seguido do litter, raiz, casca mais galho, e folhas.

Similarmente, trabalho realizado por Soares e Oliveira (2002) com o objetivo de ajustar equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, MG constataram que o fuste sem casca representou a parte aérea da árvore com maior quantidade de carbono (83,24%), seguido dos galhos (6,87%), da casca (6,62%), e das folhas (2,48%).

Caldeira *et al.* (2001), em pesquisa sobre a quantificação da biomassa acima do solo para *Acacia mearnsii* de Wild., apresentaram a seguinte distribuição para biomassa e carbono: 20% nas folhas; 19,5% nos galhos vivos; 2,8% nos galhos mortos; 11,8% na casca, e 45,9% na madeira.

Os valores médios obtidos neste ensaio apontaram que o fuste é o componente vegetal com maior quantidade de carbono fixado (38%), seguido de 35% para galhos, 23% para raízes e 4% para folhas (Figura 4). Os resultados deste ensaio podem ser comparados aos obtidos por Leles *et al.* (2001), que avaliaram o

crescimento, a produção e a alocação de matéria seca em *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* na região do cerrado de Minas Gerais. Os autores mencionados reportaram 49% para madeira mais casca, 27% para raízes, 13% para galhos, e 9% para folhas de *E. camaldulensis*, e 50% para madeira mais casca, 33% para raízes, 10% para galhos, e 7% para folhas de *E. pellita*.

Houve variação na estimativa da quantidade de carbono para diferentes tamanhos da *L. leucocephala* (Figura 4). Considerando a biomassa total, a proporção da biomassa ou de carbono fixado no componente subterrâneo tende a se manter estável nas diferentes dimensões da leucena, com um leve decréscimo (13%) nos indivíduos com CAP entre 17,7 e 24,1 cm. No fuste, a proporção de carbono fixado com relação ao carbono total é decrescente nos grupos G1 (49%), G2 (46%) e G3 (35%). Para galhos, a proporção é inversa se comparada com o fuste. Nesse componente, o estoque de carbono foi crescente com o aumento da CAP (18, 29 e 37%, respectivamente para G1, G2, e G3). As folhas apresentaram maior proporção no G1 (9%), ficando estável (4%) para os indivíduos com as dimensões da CAP acima de 17,7 cm.

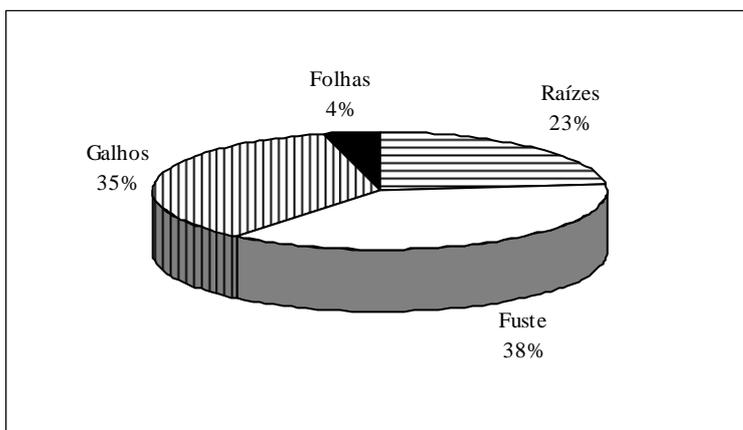


FIGURA 3: Distribuição de carbono nas raízes, no fuste, nas folhas e nos galhos vivos.

FIGURE 3: Carbon distribution in roots, trunk, leaves and live branches.

Valores similares para folhas foram encontrados por Nakama *et al.* (2000) que avaliaram a potencialidade para o seqüestro de carbono em plantações com *Eucalyptus viminalis* Hook. de diferentes idades. Naquele estudo, para plantas com idades de 4, 8, 10, 12 ou 14 anos a proporção de carbono e biomassa seca nas folhas foi de 33, 11, 7, 11 e 5% respectivamente. O trabalho supracitado não contemplou a estimativa de biomassa das raízes, e, para a biomassa de fuste e galhos, a proporção foi inversa ao encontrado neste ensaio, certamente pelas diferenças estruturais dos vegetais comparados.

Neste ensaio, para indivíduos com as dimensões da CAP compreendidas entre 5,8 e 10,6 cm (Figura 4) o estoque de carbono foi de 49% para o fuste, 24% para as raízes, 18% para os galhos, e 9% para as folhas. Para aqueles com as dimensões da CAP compreendidas em 17,7 e 24,1 cm, o estoque de carbono tem a seguinte distribuição: 46% no fuste, 29% nos galhos, 21% nas raízes, e 4% nas folhas. O grupo com os indivíduos de CAP acima de 30,9 cm apresentou a seguinte distribuição: galhos 37%, fuste 35%, raízes 24%, e folhas 4%.

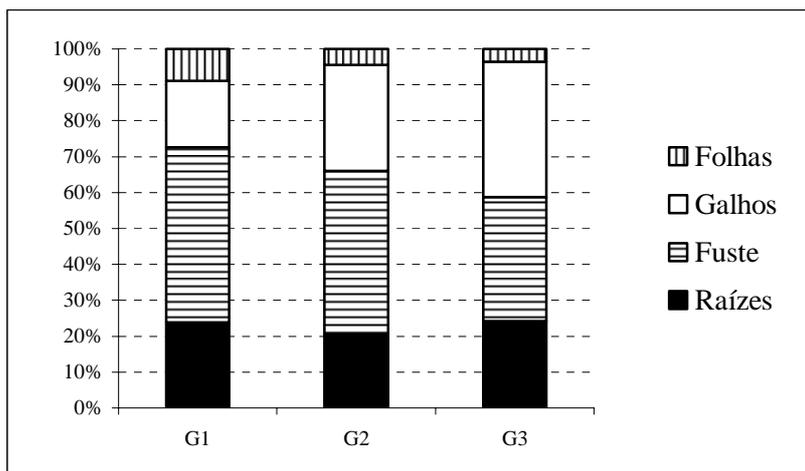


FIGURA 4: Percentual de carbono alocado nos componentes estruturais de *L. leucocephala* por grupos: G1 (CAP entre 5,8–10,5 cm), G2 (CAP entre 17,7–24,1 cm) e G3 (CAP entre 30,9–38,1 cm).

FIGURE 4: Allocation of *L. leucocephala* structural carbon (%) by groups G1 (circumference at breast height - CBH between 5.8 – 10.5 cm), G2 (CBH between 17.7 – 24.1 cm) and G3 (CBH between 30.9 – 38.1 cm).

CONCLUSÕES

O modelo ajustado para a estimativa da biomassa total apresenta as variáveis: circunferência à altura do peito – CAP e altura total – HT como sendo explicativas e significativas. A equação para biomassa seca total de melhor comportamento $Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i}$ ($Y_i = 3,4349 + -0,2046x_{1i} + 1,4603x_{2i}$), está baseada em modelos transformados em logaritmo natural ou logaritmo neperiano.

Para a estimativa da biomassa das raízes ou biomassa subterrânea, as variáveis explicativas e significativas foram a BA e a CAP, representadas no modelo linear ajustado $Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i}$ ($y = -3,76 + 23,5x_{1i} + 0,3038x_{2i}$).

Do total da biomassa e do carbono para *L. leucocephala* em diferentes tamanhos, 24% corresponde à porção da raiz e 76% corresponde à porção aérea, tendo a seguinte distribuição: fuste > galhos > folhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARACRUZ CELULOSE. Estimativa da biomassa e estoque de carbono em áreas de nativas da Aracruz. Disponível em: <[http://www.aracruz.com.br/pt/ambiente/amb_mudancas_relatorio_023409 .pdf](http://www.aracruz.com.br/pt/ambiente/amb_mudancas_relatorio_023409.pdf)>. Acesso em 05 out. 2005. *Aracruz Celulose.* / 2005 /.
- ARACRUZ CELULOSE. Estimativa da biomassa e estoque de carbono em áreas de nativas da Aracruz. Disponível em: <[http://www.aracruz.com.br/pt/ambiente/amb_mudancas_relatorio_030506 .pdf](http://www.aracruz.com.br/pt/ambiente/amb_mudancas_relatorio_030506.pdf)>. Acesso em 19 jun. 2006. *Aracruz Celulose.* / 2006 /.
- BALTEIRO, L. D.; ROMERO, C. Carbon captured as a new instrument in forest management: some implications. *Scientia Forestalis*, n. 63, p. 103-114, 2003.
- BARICHELLO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M. Quantificação da Biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. Na região Sul do Brasil. *Ciência Florestal*, v. 15, n. 2, p. 129-135, 2005.
- CALDEIRA, M. V. W. *et al.* Quantificação da biomassa acima do solo de *Acácia mearnsii* De WILD., procedência Batemans Bay – Austrália. *Ciência Florestal*, v. 11, n. 2, p. 79-91, 2001.
- DALMOLIN, M. F. da S. **Dispersão e germinação de *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. No Município de Santa Helena – Paraná.** 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon.
- DIXON, R. K. *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, v. 263, p. 185-190. 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Latossolos. In: _____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p. Cap. 11. p.197-216.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Leucena (*Leucaena spp.*) legumineira – cultura forrageira para produção de proteína.** Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/ct/ct13/>>

- 03leucena.html>. Acesso em 31 jan. 2006. **Embrapa Gado de Corte**. São Paulo-SP. / 2006 /.
- FINGER, C. A. G. Medição de Árvores. In: _____. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p. Cap. 3.2.2.1. p.51.
- FONTES, M. A. L. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. **Scientia Forestalis**, n. 55, p. 79-87, 1999.
- LAMLON, S. H.; SAVIDGE, R. A. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. **Biomass and Bioenergy**, v.25, n. 3, p. 381-388, 2003.
- LAPPONI, J. C. Correlação. In: _____. **Estatística usando Excel**. São Paulo: Lapponi Treinamento e Ed. 2000. 450 p. Cap. 6. p.155-176.
- LELES, P. S. dos S. *et al.* de. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87, 2001.
- LIMA, J. A.; EVANGELISTA, A. R. *Leucaena leucocephala*. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/Boletim/pdfextensao/bol_50.pdf>. Acesso em 09 fev. 2006. Lavras-MG. / 2006 /.
- MINITAB INC™ 14.0. Making Data Analysis Easier. Statistical Software. Minitab Inc State College, PA, EUA. 1972.
- NAKAMA, V. *et al.* Las plantaciones forestales como sumideros del carbono atmosférico: Estudio de caso en la provincia de Buenos Aires. Disponível em: <http://www.inta.gov.ar/suelos/actualidad/Seminarios/Mesa_red_suelos_fores.pdf>. Acesso em 12 mar. 2006. **SAPyA Forestal**. Buenos Aires – Argentina, p.2-11. 2000.
- NISHI, M. H. **O MDL e o atendimento aos critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade por diferentes atividades florestais**. 2003. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- NUTTO, L. *et al.* O mercado internacional de CO₂ : o impacto das florestas nativas e das plantações. In.: SAQUETA, C. R. *et al.* (eds.) **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p. 89-108.
- PARROTTA, J. A. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. – *Leucaena tantan*. Disponível em: <<http://www.fs.fed.us/global/iitf/Leucaenaleucocephala.pdf>>. Acesso em 06 maio 2006. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. New Orleans-LA- USA, p.308-316, 1992.
- PRIMAVESI, A. C. P. de A. *et al.* Avaliação de genótipos de *Leucaena* spp. nas condições edafoclimáticas de São Carlos, SP: I. Caracterização fenotípica e avaliação agrônômica. **Scientia Agrícola**, v. 51, n. 1, p. 47-52, 1994.
- SANTOS, S. R. M. dos; MIRANDA, I de. S.; TOURINHO, M. M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 1, p. 1-8, 2004.
- SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1993.
- SCOLFORO, J. R. S. Métodos para construção de modelos empíricos; Equações de Biomassa. In: _____. **Biometria Florestal: Técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 292 p. Cap. 5. p.181-202; Cap. 6. p. 203-212.
- SIQUEIRA, L. P de. **Monitoramento de áreas restauradas no interior do Estado de São Paulo, Brasil**. 2002. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R de. Equações para estimar a quantidade de carbono na parta aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 31-38, 2002.
- TSUKAMOTO FILHO, A. de A. *et al.* Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2004.
- ZÁRATE, R. S. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, subsp. glabrata. **Phytologia**. Gruver, v. 63, n. 4, p. 304-306, 1987.