

MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM ÁREA DE REGENERAÇÃO NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

Mágda Rosa Fontoura¹, Braulio Otomar Caron², Elder Eloy³, Rômulo Trevisan³,
Jonathan William Trautenmüller⁴, Alexandre Behling⁵

^{1*}Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Agricultura e Ambiente, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil - magda-ros@hotmail.com, otomarcaron@yahoo.com.br², eloyelder@yahoo.com.br³, romulo_trevisan@uol.com.br⁴, Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, Paraná, Brasil - jwtrautenmuller@yahoo.com.br⁵, alexandre.behling@yahoo.com.br⁵

Recebido para publicação: 18/07/2017 - Aceito para publicação: 27/10/2017

Resumo

O conhecimento do acúmulo de biomassa contribui para a determinação da produtividade da espécie ou tipologia, além de subsidiar a escolha do manejo adequado em cada situação. O presente estudo teve por objetivo ajustar modelos alométricos para estimativa de biomassa em uma área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* Baill. Os dados foram coletados no município de Frederico Westphalen, RS, em área de regeneração natural, onde foram mensurados a altura (h) e diâmetro à altura do peito (DAP) de 163 árvores em cinco parcelas de 4 x 25 m (100 m²), com DAP entre 1,8 e 30,0 cm, as quais foram distribuídas em 8 classes de diâmetro: 1,8 - 3,7; 3,7 - 5,6; 5,6 - 7,5; 7,5 - 9,4; 9,4 - 11,3; 11,3 - 13,2; 13,2 - 15,1 e 15,1 - 17,0 cm, sendo selecionadas 26 para o corte. Para quantificar a biomassa e obter a massa seca total (MST) de cada indivíduo, procedeu-se com a separação, pesagem e identificação dos compartimentos (lenho, galhos e folhas), que foram acomodados em estufa de secagem com circulação e renovação de ar até peso constante. Foram testados modelos alométricos tradicionais de volumetria. A seleção do modelo foi baseada no coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$) e análise gráfica da dispersão de resíduos. O modelo de Spurr e o proposto pelos autores com o procedimento *Stepwise*, representado pela equação $MST = -5,6260 + 1,2986 * ((dap^2) * (h)) + ei$ com R^2_{aj} de 0,846 e S_{xy} de ±31,42%, demonstraram ser os mais apropriados, sendo recomendados para estimativa de biomassa nas condições propostas.

Palavras-chave: Modelagem; quantificação de biomassa; alometria; timbó.

Abstract

Alometric models for biomass estimation in the natural regeneration area of Ateleia glazioviana Baill. Knowing about the accumulation of biomass on the soil contributes to the determination of the potential of the species and/or typology. Besides, it subsidizes the choice of the most appropriate management in each situation. The present study aims to adjust allometric models for estimating biomass in the natural regeneration area of *Ateleia glazioviana* Baill. Data were collected in Frederico Westphalen, RS, Brazil, in a natural regeneration area. Height (h) and diameter at breast height (DBH) of 163 trees were measured in five 4 x 25 m plots (100 m²) with 1.8 to 30.0 cm of DAP, which were distributed in 8 classes of diameter: 1.8 - 3.7; 3.7 - 5.6; 5.6 - 7.5; 7.5 - 9.4; 9.4 - 11.3; 11.3 - 13.2; 13.2 - 15.1 and 15.1 - 17.0 cm, selected for cutting. For the quantification of biomass and obtainment of the total dry mass (MST) of each individual, we proceeded with the separation, weighing and identification of the compartments (wood, branches and leaves), which were accommodated in a drying oven with circulation and air renewal until they reached a constant weight. Traditional allometric models of volumetry were tested. The model selection was based on the adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), standard error of the estimate ($S_{xy}\%$) and graphical analysis of waste dispersion of residues. The Spurr model and the one proposed by the authors (according to the *Stepwise* procedure and represented by equation: $MST = -5.6260 + 1.2986 * ((dap^2) * (h)) + ei$, with R^2_{aj} of 0.846 and S_{xy} of 31.42%) proved to be the most appropriate. It is recommended for estimation of biomass under the proposed conditions.

Keywords: Modeling; biomass quantification; allometry; timbó.

INTRODUÇÃO

O atual modelo de crescimento da sociedade apresenta diversos problemas, dentre os quais se destaca o alto consumo de fontes de energia não renováveis, como o manganês, urânio e combustíveis fósseis. Dessa maneira, com o intuito de minimizar esse contexto, diversos países vêm buscando novas alternativas, como a intensificação do uso de meios renováveis, incluindo a biomassa florestal, em substituição aos combustíveis fósseis ((ELOY *et al.*, 2015; SANQUETTA *et al.*, 2015).

A biomassa florestal é todo recurso renovável que provém de matéria orgânica, viva ou morta, animal ou vegetal (SANQUETTA; BALBINOT, 2004) e apresenta como objetivo a produção de energia, servidão ambiental e sequestro e estoque de carbono nos diferentes componentes - folha, galho, tronco e raízes (MIRANDA *et al.*, 2011; HENRY *et al.*, 2014). Assim, esse recurso natural é considerado um dos mais importantes para a humanidade (SANQUETTA *et al.*, 2015).

A produtividade das florestas é utilizada como indicador ecológico, o que nos auxilia a entender o acúmulo de energia dos ecossistemas (ABOAL *et al.*, 2005) e sua contribuição em relação a redução de emissões de poluentes nas diversas formações florestais (RIBEIRO *et al.*, 2010). Dessa forma, a compreensão da estrutura organizacional das diferentes tipologias existentes torna-se essencial no conhecimento do potencial energético da vegetação.

A *Ateleia glazioviana* Baill. (Timbó) é classificada como espécie arbórea pioneira nativa e especializada na colonização de clareiras por apresentar regeneração natural intensa. Conforme o decreto 6.600 de 2008 que regulamenta a Lei da Mata Atlântica e de que trata o art. 28 da Lei nº 11.428 de 2006 o corte, supressão e manejo dessa espécie podem ser realizados em fragmentos florestais em estágio médio de regeneração natural, se sua presença for superior a 60% em relação às demais espécies (BRASIL, 2017). Esse cenário remete à necessidade de informações referentes à biomassa estocada, fator que acrescenta na tomada de decisão sobre qual técnica de manejo utilizar em cada local e/ou situação (URBANO *et al.*, 2008; REZENDE *et al.*, 2006).

A quantificação da biomassa pode ser obtida por meio do método direto, que consiste na amostragem destrutiva do indivíduo, ou seja, corte, separação e pesagem de toda a biomassa. Esse procedimento é indispensável para o conhecimento prévio das características da vegetação; entretanto, apresenta fatores limitantes quando utilizado em grandes áreas, como alto custo e demasiado tempo (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

Em contrapartida, a utilização do método indireto minimiza esses fatores, além de envolver amplas extensões de floresta empregando a modelagem de equações alométricas (SANQUETTA; BALBINOT, 2004) e utilizando variáveis independentes como diâmetro à altura do peito e altura total ou comercial dos indivíduos (CANADELL *et al.*, 1988; SANQUETTA *et al.*, 2015).

O conhecimento do acúmulo de biomassa acima do solo com a aplicação do método direto é importante para a determinação do potencial da espécie. No entanto, é também muito trabalhoso e com alto custo, o que pode ser reduzido com o emprego do método indireto (SANQUETTA; BALBINOT, 2004). Esse método permite estabelecer relações para descrever a biomassa, evitando o processo oneroso de mensuração de todos os indivíduos do fragmento florestal.

Desse modo, formulou-se a seguinte hipótese: a utilização de equações alométricas na estimativa de biomassa em área de regeneração natural, por meio de variáveis independentes (diâmetro e altura), proporciona uma determinação próxima à real produção, bem como uma seleção adequada do modelo. Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo ajustar equações alométricas para estimativa de biomassa em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* Baill. no município de Frederico Westphalen - RS.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* com, aproximadamente, 2,4 ha e localizada no município de Frederico Westphalen, sob coordenadas geográficas de 27°23'08" Sul e 53°25'51" Oeste a 420 m de altitude. O clima da região é subtropical úmido com verões quentes (Cfa) conforme classificação de Köppen. O regime de chuvas é equilibrado, com média entre 1.700 a 1.900 mm e temperatura média entre 20 a 23°C (ROSSATO, 2014). O solo predominante da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006).

A faixa de diâmetro de 1,8 a 30,0 cm de inclusão dos indivíduos foi estabelecida pelos autores para estimar a biomassa arbórea viva armazenada em parcelas de 4 x 25 m (100 m²). Entretanto, se fossem encontradas árvores com DAP maiores que 30,0 cm dentro dessas, seria necessário fazer a marcação de uma nova parcela de 5 x 100 m (500 m²) superposta. No entanto, não foram encontradas árvores acima do diâmetro proposto.

Os dados foram coletados em cinco parcelas de 4 x 25 m (100 m²), nas quais foram mensuradas, de todas as árvores com 1,8 a 30,0 cm de diâmetro, informações de altura total (h) e diâmetro à altura do peito (DAP), totalizando 163 indivíduos. Em seguida, os mesmos foram distribuídos em 8 classes de diâmetro: 1,8 - 3,7 cm, 3,7 - 5,6 cm, 5,6 - 7,5 cm, 7,5 - 9,4 cm, 9,4 - 11,3 cm, 11,3 - 13,2 cm, 13,2 - 15,1 cm e 15,1 - 17,0 cm, sendo selecionados ao acaso 26 indivíduos para o corte e avaliação destrutiva, o que correspondeu de 3 a 4 árvores para cada classe de diâmetro.

Após o seccionamento das árvores, foram retirados seis discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura nas seguintes posições ao longo do fuste: 0,10 m (base), 1,30 m (DAP), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total da árvore. Em seguida, procedeu-se com numeração e identificação dos mesmos, os quais foram acondicionados em sacos plásticos e transportados para o Laboratório de Agroclimatologia da UFSM, onde foi retirada a casca e realizado o seccionamento de duas cunhas simetricamente opostas de cada disco.

As amostras dos galhos e folhas foram coletadas de forma estratificada na árvore, ou seja, no seu estrato inferior, médio e superior da copa para a obtenção de um material homogêneo representativo de toda a copa. Posteriormente, foram identificadas e acondicionadas em estufa com circulação e renovação de ar, sendo as folhas a 75°C e galhos e madeira a 103°C até peso constante para obtenção da massa seca.

A determinação da biomassa foi realizada pelo método direto, que consistiu no corte e pesagem dos diferentes componentes das árvores. As massas frescas foram obtidas a campo, sendo que se retirou amostras de aproximadamente 2 quilos (Kg) de cada compartimento para determinação em laboratório do teor de umidade. Na Tabela 1, estão apresentados os valores de altura total e diâmetro a altura do peito dos indivíduos.

Tabela 1: Valores de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h) das árvores de *Ateleia glazioviana*, no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 1: Values of diameter at breast height (DBH) and total height (h) of the trees of *Ateleia glazioviana*, in the municipality of Frederico Westphalen-RS, Brazil.

Classes	Indivíduo	DAP (cm)	h (m)
1	1	2,0	3,3
	2	2,6	3,6
	3	3,7	5,3
2	4	3,8	5,5
	5	4,5	7,8
	6	4,9	7,7
	7	5,4	7,1
3	8	6,1	7,2
	9	7,2	9,5
	10	7,5	9,7
4	11	8,6	9,8
	12	8,7	9,6
	13	9,1	10,4
5	14	9,5	10,2
	15	10,1	8,6
	16	10,6	8,4
6	17	11,2	10,8
	18	11,7	10,2
	19	12,8	10,6
7	20	13,4	11,0
	21	13,7	10,1
	22	13,8	11,6
8	23	15,5	11,9
	24	15,7	11,7
	25	16,6	10,0

Em que: DAP = diâmetro à altura do peito, em centímetros; h = altura total, em metros.

Para determinação da idade das árvores, realizou-se a análise de tronco a partir de discos transversais retirados nas posições: 0,10; 0,30; 1,00; 1,30 e, a partir daí, de 1 em 1 metro até atingir a altura total da árvore. Após a secagem dos discos, eles foram lixados, facilitando a contagem e medição dos anéis. O método consiste na marcação de quatro raios perpendicularmente dispostos em cada disco, em que a média dos raios aferidos em cada anel do disco representa o raio de determinado anel (FINGER, 1992).

A medição dos anéis anuais de crescimento foi realizada com uma régua milimetrada, partindo da medula. A fim de evitar a marcação de falsos anéis e levando em consideração que a espécie não apresenta anéis facilmente visualizados a olho nu, aplicou-se uma solução de azul de metíleno. Em seguida, todos os valores foram organizados em uma planilha para desenvolvimento dos cálculos das médias aritméticas para posterior análise.

Com a obtenção dos dados de DAP, h e massa seca total (MST), realizou-se a análise descritiva das variáveis, valores máximos e mínimos, desvio padrão, erro padrão absoluto e variância e ajuste dos modelos alométricos para toda a base de dados. Essas equações foram selecionadas por serem as mais utilizadas da área de manejo florestal (Tabela 2).

Tabela 2: Modelos estatísticos testados para as estimativas de massa seca total.

Table 2: Mathematical statistical tested for estimates of total dry mass.

Nº	Modelos	Autor
1	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d) + \epsilon_i$	Berkhout
2	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d^2) + \epsilon_i$	Kopezky-Gehrhardt
3	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d) + \beta_2 * (d^2) + \beta_3 * (d * h) + \beta_4 * (d^2 * h) + \beta_5 * (h) + \epsilon_i$	Meyer
4	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d) + \beta_2 * (d^2) + \beta_3 * (d * h^2) + \beta_4 * (d^2 * h) + \beta_5 * (h) + \epsilon_i$	Meyer Modificada
5	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (h) + \beta_2 * (d^2) + \beta_3 * (d^2 * h) + \epsilon_i$	Stoate
6	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d^2 * h) + \epsilon_i$	Spurr
7	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d^2) + \beta_2 * (d^2 * h) + \beta_3 * (d) + \beta_4 * (h^2) + \beta_5 * (h^2) + \epsilon_i$	Naslund Modificada
8	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d) + \beta_2 * (d^2) + \epsilon_i$	Hohenald-Gehrhardt
9	$MST = \beta_0 + (d^{\beta_1}) + (h^{\beta_2}) + \epsilon_i$	Shumacher e Hall
10	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d^2 * h) + \epsilon_i$	Autores

Em que: β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 e β_5 = coeficientes estimados por regressão; DAP = diâmetro à altura do peito (cm); MST = massa seca total da árvore (Kg); h = altura total (m); ln = logaritmo neperiano.

Os dados experimentais originais foram transformados para forma logarítmica de base neperiana após análise dos testes de Kolmogorov-smirnov e White, visando atingir uma melhor correlação entre as variáveis dependentes e independentes, uma vez que não apresentavam normalidade e homogeneidade na distribuição dos dados amostrais. Em seguida, realizou-se o procedimento *Stepwise*, no qual o modelo foi definido pela equação $MST = f(DAP, DAP^2, DAP.h, DAP^2.h, DAP^2.h^2, DAP.h^2, h, h^2, 1/DAP, 1/h)$; em que massa seca total (MST) é dada em quilogramas, diâmetro à altura do peito (DAP) em cm e altura total (h) em m. Os critérios para seleção dos melhores modelos foram os coeficientes de determinação ajustado (R^2_{aj}), os erros padrão da estimativa em porcentagem ($S_{xy}\%$), valor de significância do teste F_{cal} a 5% de probabilidade de erro, significância dos coeficientes de regressão (β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 e β_5) pelo teste t e análise gráfica dos resíduos padronizados.

Para obter os valores da variável de interesse MST, procedeu-se com a operação inversa ao logaritmo neperiano, ou seja, a aplicação do Fator de Correção de discrepância logarítmica proposto por Meyer: $FM = e^{0.5.QM}$, em que FM = Fator de Correção de Meyer; e = exponencial e QM = Quadrado Médio do Resíduo. Nesse modelo, corrigem-se as estimativas dos modelos logarítmicos, obtendo novos valores de R^2_{aj} e $S_{xy}\%$, os quais podem ser comparados com modelos aritméticos conforme metodologia utilizada por Melo *et al.* (2014).

RESULTADOS

Os valores da estatística descritiva das variáveis dependentes e independentes dos 26 indivíduos utilizados nos testes estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis dependentes e independentes utilizadas no ajuste dos modelos de estimativa de biomassa de *Ateleia glazioviana* no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 3: Descriptive statistics of the dependent and independent variables used in the adjustment of the *Ateleia glazioviana* biomass estimation models in the municipality of Frederico Westphalen-RS, Brazil.

Variável	Mín.	Méd.	Máx.	DP	EPA	Variância
MST	0,01	35,72	102,31	33,670	6,60	1133,82
DAP	2,01	9,43	16,68	4,480	0,88	20,10
h	3,30	8,90	11,90	2,360	0,46	5,58

Em que: MST = massa seca total (Kg); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); h = altura total (m); Mín.= valor mínimo; Méd.= médio; Máx.= máximo; DP = desvio padrão (\pm); EPA = erro padrão absoluto.

O modelo tradicional de Spuur e o proposto pelos autores pelo emprego do procedimento *Stepwise*, para área de regeneração natural utilizando toda a base de dados, apresentaram índices adequados de ajuste e precisão de acordo com os coeficientes de determinação (R^2_{aj}) e erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$).

Em relação à distribuição da biomassa total dos 26 indivíduos analisados, verificaram-se variações entre os compartimentos conforme o aumento do diâmetro, em que o maior percentual foi obtido para o lenho com valor igual a 59,4% seguido pelos galhos com 33,9% e as folhas com 6,7% (lenho > galhos > folhas). No entanto, observa-se uma tendência de aumento gradativo da participação da massa seca total nos componentes galhos e folhas ao longo das classes diamétricas (Figura 1).

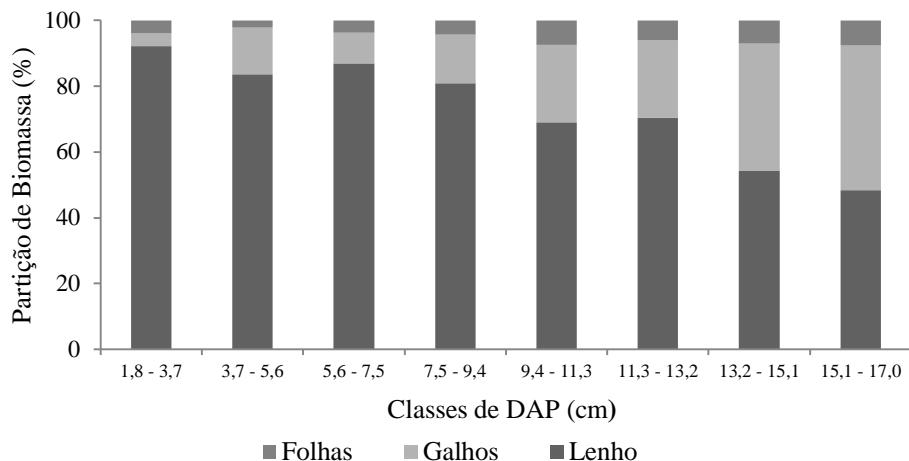


Figura 1: Partição da massa seca total das árvores de *Ateleia glazioviana*, distribuídas nas classes de diâmetro, no município de Frederico Westphalen-RS.

Figure 1: Partition of total dry mass of *Ateleia glazioviana* trees, distributed in diameter classes, in the municipality of Frederico Westphalen-RS, Brazil.

As equações ajustadas para o conjunto de dados apresentaram variação de 0,826 a 0,919 para o R^2_{aj} e de 31,42 a 36,69% para o S_{xy} (Tabela 3). O modelo 10 proposto pelos autores com o emprego do procedimento *Stepwise* foi considerado o mais apropriado para estimar a biomassa, sendo representado pela equação: $MST = -5,6260 + 1,2986 * (\ln((dap^2) * (h))) + ei$, a qual proporcionou maior R^2_{aj} (0,846) e menor S_{xy} (31,42%), com coeficientes significativos a 95% de probabilidade de confiança pelo teste t (Tabela 4). O mesmo coincide com o modelo tradicional Spurr (6) já descrito na literatura. De acordo com os critérios estatísticos de seleção adotados, o modelo pode ser considerado como um dos melhores modelos para estimativa de biomassa em área de regeneração natural nas condições propostas.

Tabela 4: Parâmetros e estatística de precisão das equações testadas e ajustadas para estimativa de biomassa acima do solo em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 4: Parameters and statistics of the equations tested and adjusted for estimation of above-ground biomass in the natural regeneration area of *Ateleia glazioviana* in the municipality of Frederico Westphalen-RS, Brazil.

Nº	Parâmetros						R^2_{aj}	$S_{xy}\%$
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5		
1	-4,2678*	3,2726*					0,834	32,64
2	-4,2674*	1,6363*					0,833	32,69
3	-6,1563 ^{ns}	17,4254 ^{ns}	-33,152 ^{ns}	-12,4551 ^{ns}	31,8439 ^{ns}	-17,6249 ^{ns}	0,826	33,33
4	-6,4102 ^{ns}	9,0248 ^{ns}	-45,845 ^{ns}	-26,9564 ^{ns}	55,9212 ^{ns}		0,839	32,11
5	-6,1930 ^{ns}	-31,955 ^{ns}	-32,533 ^{ns}	33,7171 ^{ns}			0,841	31,87
6	-5,6260*	1,2986*					0,846	31,42
7	-6,8960 ^{ns}	-31,7661 ^{ns}	59,2995 ^{ns}	-52,9938 ^{ns}	24,5324 ^{ns}		0,843	31,75
8	-4,2548*	26,9347 ^{ns}	-11,8353 ^{ns}				0,828	33,17
9	-1,5216 ^{ns}	1,8339 ^{ns}	-32,1815 ^{ns}				0,919	36,69
10	-5,6260*	1,2986*					0,846	31,42

Em que: R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado; $S_{xy}\%$ = Erro padrão da estimativa em percentagem. *significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns} não diferem pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os modelos de Naslund Modificado (7), Stoate (5) e Meyer Modificado (4) obtiveram valores próximos aos do modelo de Spurr (6) para R^2_{aj} de 0,843; 0,841 e 0,839 e S_{xy} de 31,75; 31,87 e 32,11% respectivamente. Entretanto, seus coeficientes não foram significativos, contraindicando, dessa forma, sua utilização para estimar a biomassa dessa área de regeneração natural. O modelo Shumacher e Hall (9) apresentou um R^2_{aj} alto (0,919) e em contrapartida o maior S_{xy} (36,69%), sendo inferiores aos obtidos pelas demais equações e ocasionando a não escolha dessa equação.

Os modelos de Berkhout (1), Kopezky-Gehrhardt (2) e Hohenald-Gehrhardt (8) possuem apenas o DAP como variável independente no ajuste como na maioria dos trabalhos desenvolvidos. No entanto, o modelo logarítmico selecionado utiliza a combinação do DAP e h como variáveis independentes, o que proporciona um melhor ajuste final dos modelos.

Na análise de dispersão dos resíduos da Figura 2, observa-se uma tendência semelhante de distribuição para todas as equações ao longo da linha de regressão. Entretanto, nota-se uma dispersão menos heterocedástica dos resíduos nos modelos 6 e 10, sendo os que apresentam os melhores indicadores estatísticos (R^2_{aj} e $S_{xy}\%$) dentre os modelos estudados.

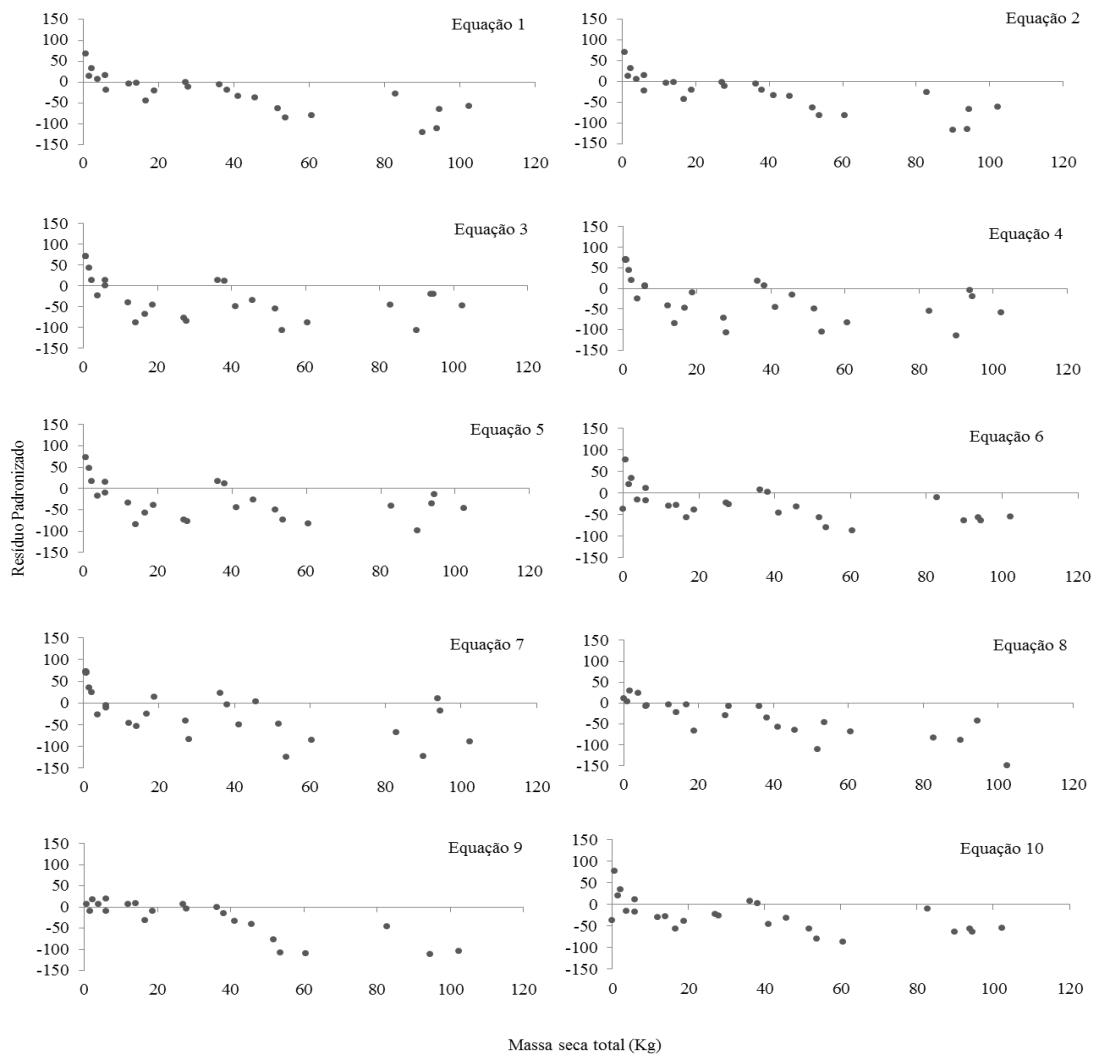


Figura 2: Dispersão dos resíduos das estimativas de biomassa em função da massa seca total de *Ateleia glazioviana* no município de Frederico Westphalen-RS.

Figure 2: Dispersal of waste from biomass estimates as a function of total dry mass, of *Ateleia glaziovian* in the municipality of Frederico Westphalen-RS, Brazil.

DISCUSSÃO

A amplitude dos valores, tanto da variável dependente MST quanto das independentes DAP e h, observada na Tabela 3 está relacionada com o crescimento da regeneração natural e, segundo Urbano *et al.* (2008), ocorre devido à variabilidade de forma e tamanho das árvores nos povoamentos nativos.

Essa constatação fica evidente com a análise de dados obtidos em experimentos desenvolvidos sobre o crescimento de *Ateleia glazioviana* aos 12 anos de idade em Latossolo vermelho distrófico pela Embrapa Floresta (2002) em Campo Mourão e Cianorte, no estado do Paraná. Os valores médios de altura encontrados foram de 10,96 e 12,02 m e diâmetro médio de 12,0 e 10,6 cm, respectivamente, para as duas cidades. Esses resultados corroboram com os valores médios das variáveis independentes $h = 10,65$ m e $DAP = 16,1$ cm dos indivíduos de 11 e 12 anos dispostos na base de dados do presente trabalho (Tabela 1).

Com relação à participação de massa seca total, Caron *et al.* (2015) observaram o maior percentual de biomassa no compartimento galho em relatos com *Ateleia glazioviana* aos três anos após o plantio com diferentes espaçamentos. Esse fato, segundo os autores, ocorreu em função da área útil disponível para as árvores

conforme as condições em que a pesquisa foi realizada. Além disso, alguns fatores intrínsecos a própria espécie, como bifurcações, copa volumosa e ramificação pesada contribuíram para esse resultado (CARVALHO, 2003).

Estudos realizados por Sanquetta *et al.* (2014) em povoamentos de *Acacia mearnsii* com idades variando de 1 a 7 anos demonstraram que a distribuição de biomassa variou com o aumento da idade, em que a proporção de madeira e casca apresentaram um acréscimo enquanto as folhas, flores e frutos reduziram. Resultados semelhantes foram encontrados por Behling *et al.* (2015), que, avaliando a produção de biomassa da mesma espécie, verificaram que sua participação não foi a mesma entre os compartimentos ao longo do ciclo de crescimento. No entanto, trata-se de uma espécie exótica, que possui crescimento e ciclo de corte definidos (CARVALHO, 2003), diferindo dessa forma, do desenvolvimento inicial lento e gradual característico das árvores nativas. A alocação de biomassa entre os compartimentos varia em função da idade e da participação dos fotoassimilados, os quais são direcionados primeiramente, para formação de folhas e copa, sendo utilizados, posteriormente, para produção do tronco (LARCHER, 2004; BEHLING *et al.*, 2015). Esse fato explica, provavelmente, as variações observadas nesse trabalho, pois trata-se de indivíduos jovens, sem estabilização definida.

Os modelos apresentaram índices aceitáveis de ajuste e precisão. Os resultados encontrados por Urbano *et al.* (2008) para a espécie *Mimosa scabrella*, pertencente à mesma família botânica, na estimativa de massa seca total de bracatingais com idade entre 4 e 17 anos de idade no estado do Paraná, mostram uma variação de 0,67 a 0,97 e de 18,12 a 58,30% para R^2_{aj} e S_{xy} , respectivamente. Da mesma forma, Sanquetta *et al.* (2015), em trabalho realizado com *Schinus terebinthifolius* em diferentes idades, encontraram variação de R^2_{aj} de 0,75 a 0,78 e $S_{xy}\%$ de 25,54 a 27,59%. Esses valores são aceitáveis para florestas inequianas em processo de crescimento (RIBEIRO *et al.*, 2010).

Diversos trabalhos de estimativa de biomassa realizados alegam que a variável DAP apresenta importância superior na seleção dos modelos, por ser de fácil e rápida mensuração, além de apresentar menor erro de amostragem e menor custo quando comparado com a utilização em conjunto com a altura (LIMA *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2014). No entanto, ao utilizar a combinação DAP e h nos testes, alguns pesquisadores notaram uma maior eficiência no ajuste dos modelos (LIMA *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2014), fato que deve ser considerado.

O modelo logarítmico de Spurr selecionado, utilizando DAP e h como variáveis independentes mostrou-se como o mais apropriado. Esse resultado corrobora com os resultados encontrados em estudos com *Quercus ilex* por Canadell *et al.* (1988), em que os autores, testando modelos de regressão logarítmicos para estimar biomassa, mencionam que as variáveis independentes DAP e h são comumente as mais empregadas. O mesmo resultado foi evidenciado por Mello e Gonçalves (2008) na estimativa de biomassa de *Eucalyptus grandis*, em que o melhor modelo de regressão linear logaritmizado ajustado obtinha “DAP² h” como variável independente.

De modo geral, observa-se que a escolha do modelo de Spurr e do proposto pelos autores foi confirmada com base nos indicadores estatísticos R^2_{aj} e S_{xy} e por meio da análise de dispersão de resíduos para estimativa de biomassa em área de regeneração natural, sendo que os demais modelos tenderam a superestimar a biomassa das árvores maiores.

CONCLUSÕES

As análises realizadas permitem concluir que:

- O modelo de Spurr e o proposto pelos autores com o emprego do procedimento *Stepwise* são apropriados para estimar a biomassa aérea na área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* nas condições propostas.
- Para biomassa aérea, o modelo representado pela equação $MST = -5,6260 + 1,2986 * ((DAP^2) * (h))$ demonstrou-se como o mais adequado.
- A dispersão menos heterocedástica dos resíduos foi apresentada pelo modelo de Spurr (6) e pelo proposto pelos autores (10), o que confirma a eficácia da estimativa baseado nos indicadores estatísticos (R^2_{aj} e S_{xy}).
- Recomenda-se a realização da seleção de modelos para os diferentes componentes das árvores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro e suporte.

REFERÊNCIAS

ABOAL, J. R.; ARÉVALO, J. R.; FERNÁNDEZ, A. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). **Flora**, Canary Islands, v. 200, p. 264 - 274, 2005.

BASUKI, T. M., VAN LAAKE, P. E., SKIDMORE, A. K., HUSSIN, Y. A. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland *Dipterocarp* forests. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 1684 - 1694, 2009.

BEHLING, A.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; CARON, B.; SIMON, A. A.; BEHLING, M.; SCHMIDT, D. Conversion efficiency of photosynthetically active radiation intercepted in biomass in stands of black wattle in Brazil. **Bosque**, v. 36, n. 1, p. 61 - 69, 2015.

BRASIL. Lei n° 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõem sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, vinte e dois de dezembro de 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm>. Acesso em: 12 jan 2017.

CANADELL, J.; RIBA, M.; ANDRÉS, P. Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny, northeastern Spain. **Forestry**, Rome, v. 61, n. 2, p. 137 - 147, 1988.

CARON, B. O.; ELOY, E.; SOUZA, V. Q.; SCHMIDT, D.; BALBINOT, R.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Quantificação da biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 1, p. 106 - 112, 2015.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003, 1.039 p.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SILVA, D. A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 8, p. 1424 - 1431, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 412 p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Manual Técnico do Timbó (Ateleia glazioviana Baill.)**. Curitiba, 2002. 8p. (Embrapa-CNPq. Documentos, 57).

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, p. 269. 2002.

HENRY, M. H.; JARA, M. C.; RÉJOU-MÉCHAIN, M.; PIOTTO, D.; FUENTES, J. M. M.; WAYSON, C.; GUIER, F. A.; LOMBIS, H. C.; LÓPEZ, E. D.; LARA, R. C.; ROKAS, K. C.; PASQUEL, J. D. A.; MONTOYA, A. D.; VEGA, J. F.; GALO, A. J.; LÓPEZA, O. R.; MARKLUND, L.G.; MILLA, F.; CAHIDEZ, J.J.N.; MALAVASSI, E.O.; PEREZ, J.; ZEA, C.R.; GARCÍA, L.R.; PONS, R.R.; SANQUETTA, C.; SCOTT, C.; WESTFALL, J.; ZAPATA-CUARTAS, M.; SAINT-ANDRÉ, L. Recommendations for the use of tree models to estimate national forest biomass and assess their uncertainty. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 6, p. 1 - 9, 2014.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, SP RiMa. 2004. 531 p.

LIMA, A. J. N.; SUWA, R.; RIBEIRO, G. H. P. M.; KAJIMOTO, T.; SANTOS, J.; SILVA, R. P.; SOUZA, C. A. S.; BARROS, P. C. de; NOGUCHI, H.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 277, p. 163 - 172, 2012.

MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 101 - 111, 2008.

MELO, L. C.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; HENTZ, A. M. K. Estimativa de biomassa e carbono total para árvores de caixeta no Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 77, p. 21 - 29, 2014.

MIRANDA, D. L .C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. Equações alométricas para estimativas de biomassa e carbono em árvores de reflorestamento de restauração. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 679 - 689, 2011.

REZENDE, A. V.; DO VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *Sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, Brasília, v. 71, p. 65 - 76, 2006.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; NARDELLI, A. M. B.; SOUZA, A. L. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 495 - 504, 2010.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, F. (Org.). **Os climas do Sul: Em tempos de mudanças climáticas globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217 - 271.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. (Ed.). **Fixação de carbono: projetos, perspectivas e atualidades**. Curitiba, 2004. 205 p.

SANQUETTA, C. R.; BHELING, A.; CORTE, A. P. D.; SIMON, A.; PSCHEIDT, H.; RUZA, M. S.; MOCHIUTTI, S. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 361 - 370, 2014.

SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, C. R.; DURIGAN, A.; CORTE, A. P. D.; COUTINHO, V. M. Equações de Biomassa para Aroeira-Pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 3604 - 3612, 2015.

SVOB, S.; ARROYO-MORA, J. P.; KALACSKA, M. The development of a forestry geodatabase for natural forest management plans in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 327, p. 240-250, 2014.

URBANO, E.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; KOEHLER, H. S. Modelagem da biomassa aérea em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba. **FLORESTA**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 361 - 372, 2008.