



## Modelagem da altura e do incremento em área transversal de louro pardo

Ana Claudia da SILVEIRA<sup>1\*</sup>, Luis Paulo Baldissera SCHORR<sup>1</sup>, Elisabete VUADEN<sup>2</sup>,  
Jéssica Thalheimer AGUIAR<sup>1</sup>, Tarik CUCHI<sup>1</sup>, Giselli Castilho MORAES<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, PR, Brasil.

\*E-mail: [anaclaudiasil@gmail.com](mailto:anaclaudiasil@gmail.com)

Recebido em abril/2017; Aceito em agosto/2017.

**RESUMO:** O estudo teve como objetivo verificar a melhor técnica para a modelagem da altura e do incremento periódico anual em área transversal para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. Para isso, foram identificados e mensurados os diâmetros à altura do peito e as alturas totais de 35 indivíduos localizados em área de preservação permanente e de pastagem, com aproximadamente 4 ha, no município de Salto do Lontra, estado do Paraná. Posteriormente, foi realizada a análise de tronco pelo método não destrutivo verificando o incremento dos últimos 5 anos. Para a estimativa da altura e do incremento periódico anual em área transversal utilizou-se a técnica dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) nas distribuições *Gamma*, *Normal* e *Poisson* nas funções de ligação identidade e logarítmica e Redes Neurais Artificiais (RNA) do tipo *Multilayer Perceptron*. Para comparação e escolha da melhor técnica, utilizou-se a correlação entre os valores observados e estimados, a raiz quadrada do erro médio e a análise gráfica dos resíduos. Os resultados mostraram que dentre os modelos de MLG, a distribuição *Gamma* função logarítmica foi indicada para modelagem da altura, ao passo que a distribuição *Gamma* função identidade foi a recomendada para a modelagem do incremento periódico em área transversal. Quando comparadas as duas técnicas evidenciou-se melhores resultados com a utilização das RNAs, as quais estimaram as variáveis estudadas com maior precisão.  
**Palavra-chave:** *Cordia trichotoma*, modelos lineares generalizados, redes neurais artificiais.

## Modeling height and transversal area increment of louro pardo

**ABSTRACT:** The present study aimed to verify the best technique for modeling height and annual periodic increment in transversal area for *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud. For this purpose, we identify and measured the diameter at breast height and the total height of 35 individuals of this species which located in a permanent preservation and pasture area with approximately 4 hectares, in the municipality of Salto do Lontra, Paraná State, Brazil. Subsequently, the trunk analysis was performed by the non-destructive method, verifying the increment of the last 5 years. For the estimation of height and periodic annual increment in the transversal area, the Generalized Linear Models (MLG) technique was used in the Gamma, Normal and Poisson distributions in the identity and logarithmic functions and Artificial Neural Networks (RNA) of the Multilayer Perceptron type. For comparison and choice of the best technique, the correlation between the observed and estimated values, the square root of the mean error and the graphic analysis of the residues were used. The results showed that among the MLG models, the Gamma distribution with the logarithmic function was indicated for modeling height, whereas the Gamma with identity function was recommended for modeling periodic increment in transversal area. When we compared the two techniques, better results were obtained with the use of RNAs, which estimated the variables studied with greater accuracy.

**Keywords:** *Cordia trichotoma*, generalized linear models, artificial neural networks.

### 1. INTRODUÇÃO

*Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud, conhecida popularmente como louro-pardo é uma espécie arbórea, pertencente à família Boraginaceae, que tem ocorrência desde da Região Nordeste ao Sul do Brasil. É uma espécie considerada promissora, devido à uma gama de aspectos favoráveis para sua utilização econômica e ambiental, como a boa forma do fuste (reto e cilíndrico), a madeira de excelente qualidade, qualidades ornamentais e de recuperação de áreas degradadas (RIZZINI, 1971; LORENZI, 2008).

Conhecer as características e as relações interdimensionais das árvores é de grande importância quando se pretende melhorar a produtividade das florestas (CUNHA et al., 2013), bem como, a análise do crescimento

de cada espécie, tendo em vista que o estudo desses parâmetros indicam as mudanças ocorridas nas plantas. Conseqüentemente, a predição válida desses processos é imprescindível para o manejo florestal (MENDONÇA, 2003).

Para a realização de um inventário florestal, a altura é uma das variáveis mais importantes, principalmente para o cálculo e estimativa de volume e verificação dos índices de sítio (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2014). A relação hipsométrica consiste em utilizar os dados das árvores em que diâmetro e altura foram medidos, construindo uma curva altura-diâmetro com a qual se estima as alturas das demais árvores, das quais apenas o diâmetro foi medido (COSTA et al, 2012).

Geralmente, as predições são feitas com o uso de métodos matemáticos, dentre esses podemos destacar os Modelos Lineares Generalizados (MLGs), que se caracterizam por possibilitarem inúmeras opções para a distribuição da variável resposta, bem como flexibilizar a relação funcional entre a média da variável resposta e o preditor linear (PAULA, 2010).

No entanto, atualmente, novas técnicas de predição com redes neurais artificiais (RNA) têm sido utilizadas (ALMEIDA et al., 2014). HESS et al. (2015), salientou que a utilização de técnicas para gerar estimativas dendrométricas com precisão é de extrema necessidade para o desenvolvimento do manejo florestal sustentável.

O objetivo deste trabalho consistiu em testar a hipótese sobre a viabilidade em ajustar modelos capazes de estimar a altura, com base na relação hipsométrica estática e o incremento periódico anual em área transversal para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. com ocorrência natural em áreas de preservação permanente e de pastagem no município de Salto do Lontra, estado do Paraná.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Levantamento dos dados

Para o levantamento dos dados foram avaliadas 35 árvores de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. distribuídas em área de preservação permanente e de pastagem, com aproximadamente 4 ha, numa transição de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual, situadas no município de Salto do Lontra, sudoeste do estado do Paraná. A área de estudo se encontra distante 406 Km da capital do estado, Curitiba, nas coordenadas geográficas 25° 47' 02" latitude Sul e 53° 18' 31" longitude Oeste, com uma altitude de 538 m (IBGE, 2017). O clima da região é Cfa, segundo Köppen, mesotérmico, sempre úmido, com verões quentes e ocorrência de geadas no inverno, típico de regiões subtropicais.

De todas as árvores de louro pardo, foram obtidos o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (ht), com auxílio de fita métrica graduada e hipsômetro Vertex IV, respectivamente. Para determinar o incremento periódico anual foi utilizado a análise de tronco pelo método não destrutivo, o qual consistiu em coletar rolos de incremento de madeira de cada árvore utilizando o trado de Pressler.

Com o *software Image-Pro Plus* (IPWin32) foram medidas as espessuras dos últimos cinco anéis de crescimento de cada amostra e obtido o incremento periódico anual em área transversal pela equação:

$$IPA_g = (g_{t+n} - g_t) / n$$

em que:  $IPA_g$  = incremento em área transversal ( $m^2$ );  $g$  = área transversal;  $t$  = idade inicial (anos);  $n$  = período de tempo para o qual deseja-se calcular o  $IPA_g$  (anos).

### 2.2 Modelos Lineares Generalizados (MLGs)

Através da técnica de regressão pelos modelos lineares generalizados (MLGs), foram ajustados a altura em função do diâmetro e o incremento periódico anual em área transversal em função do diâmetro e da altura.

Os MLG's foram testados em três campos aleatórios *Gamma*, *Normal* e *Poisson*, com as funções de ligação identidade ( $\mu$ ) e logarítmica  $\ln(\mu)$ .

As estatísticas utilizadas para selecionar o melhor ajuste

MLG foram o Desvio (D), Critério de Informação de Akaike (AIC) e o Critério de Informação Bayesiano (BIC), sendo considerado o melhor modelo o que apresentou menor valor nestes critérios (D, AIC e BIC).

Também se utilizou a análise gráfica dos resíduos como critério para seleção do melhor ajuste. Para realizar os ajustes de MLG foi utilizado o *software Statistical Analysis System* (SAS), versão 9.2 (SAS Institute Inc., 1999).

### 2.3 Redes Neurais Artificiais (RNAs)

Foram treinadas redes do tipo *Multilayer Perceptron* através do software Neuroforest 4.0, subdividindo-se os dados em 70% treinamento e 30% validação. Aplicou-se o tipo de treinamento *Resilient Propagation* (RPROP+) com função de ativação sigmoideal. A Tabela 1 apresenta o resumo das características de entrada das RNAs treinadas neste estudo.

Tabela 1. Características RNAs para a Modelagem da Altura (h) e Incremento Periódico Anual (IPAg) em área transversal para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra – PR  
Table 1. RNAs characteristics for modeling the height (h) and periodic annual increment in the transversal area (IPAg) for *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud in Salto do Lontra - PR.

Rede	Entrada	Saída
1	dap	ht
2	Dap, ht	IPAg

dap= diâmetro a altura do peito (cm); ht= altura total (m);  $IPAg$ = incremento em área transversal ( $m^2$ ).

Como critério de parada do treinamento foi considerado o número total de ciclos igual à 3.000 ou erro quadrático médio inferior a 0,01, e quando alcançado um desses critérios, analisaram-se os resultados.

### 2.4 Comparação MLGs e RNAs

Para a comparação das estimativas realizadas pelas duas técnicas de modelagem utilizou-se a análise gráfica da dispersão dos erros percentuais, bem como os valores estatísticos da correlação entre os valores observados e estimados ( $r_{rh}$ ) e da raiz quadrada do erro médio (RQEM).

Para a dispersão dos resíduos percentuais considerou-se:

$$\text{Resíduo \%} = [(y_i - \hat{y}_i) / y_i] * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

em que:  $y_i$ = valor observado;  $\hat{y}_i$ = valor estimado.

A correlação entre os valores observados e estimados utilizou a fórmula:

$$r_{rh} = \text{cov}(y_i, \hat{y}_i) / [S^2(y_i)S^2(\hat{y}_i)]^{0.5} \quad (\text{Equação 2})$$

em que:  $y_i$ = valor observado;  $\hat{y}_i$ = valor estimado.

A raiz quadrada do erro médio, a qual avalia a diferença quadrática média entre os valores observados e estimados foi calculada por:

$$RQEM\% = \frac{100}{\bar{y}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

em que:  $\bar{y}$ =média dos valores observados;  $y_i$ = valor observado;  $\hat{y}_i$ = valor estimado;  $n$ = número total de observações.

3. RESULTADOS

O ajuste do MLG para altura em função do diâmetro, o qual foi testado nos campos aleatórios *Gamma*, *Normal* e *Poisson* com funções de ligação identidade ( $\mu$ ) e logarítmica  $\ln(\mu)$ , cujos parâmetros se apresentam na Tabela 2, indicou os melhores critérios de D e AIC para o campo aleatório *Gamma*  $\ln(\mu)$ , sendo que para BIC os melhores resultados foram encontrados para *Poisson*  $\ln(\mu)$ . Avaliando a análise gráfica dos resíduos (Figura 1) foi verificado similaridade na distribuição, não podendo destacar por essa técnica superioridade de algum dos campos analisados. Dessa forma, a seleção do campo aleatório mais indicado para as estimativas de altura das árvores da espécie deve ser baseada nos resultados estatísticos, os quais indicaram resultados superiores para *Gamma*  $\ln(\mu)$ , visto que dois dos três

parâmetros analisados foram melhores nesse.

Na avaliação dos parâmetros estatísticos para incremento periódico em área transversal realizada considerando as variáveis diâmetro à altura do peito e altura total, também foi verificado bons resultados para o campo *Gamma* (Tabela 4). De forma similar aos resultados encontrados na estimativa realizada somente em função do diâmetro, *Gamma* ( $\mu$ ) apresentou os melhores resultados estatísticos.

A análise gráfica dos resíduos, apresentada na Figura 3, demonstra também semelhança entre funções de ligação de mesmo tipo, novamente destacando a função identidade por ter uma distribuição menos heterogênea. Assim, salienta-se como melhor o campo *Gamma* com função de ligação identidade.

Tabela 2. Parâmetros estimados utilizando a técnica de Modelos Lineares Generalizados (MLG), com seus critérios de ajustes para a altura total (ht) em função do diâmetro à altura do peito (dap) para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra - PR.

Table 2. Estimated parameters using the Generalized Linear Models (MLG) technique, with their adjustment criteria for total height (h) as a function of the diameter at the breast height (dap) for *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud in Salto do Lontra - PR.

MLG	FL	Parâmetros estimados		Critérios de ajuste		
		$\beta_0$	$\beta_1$	D	AIC	BIC
<i>Gamma</i>	$(\mu)$	12,3148	0,1524	1,9549	201,2353	205,9013
	$\ln(\mu)$	2,5598	0,0088	1,9542	201,2228	205,8889
<i>Normal</i>	$(\mu)$	12,2654	0,1543	632,2585	206,614	211,28
	$\ln(\mu)$	2,5562	0,0089	631,7365	206,585	211,2511
<i>Poisson</i>	$(\mu)$	12,301	0,1532	34,5894	201,5572	204,6679
	$\ln(\mu)$	2,5584	0,0089	34,5691	201,5369	204,6476

MLG = Modelo Linear Generalizado; FL = Função de ligação; D = desvio; AIC = Critério de Informação de Akaike e BIC = Critério de Informação Bayesiano.

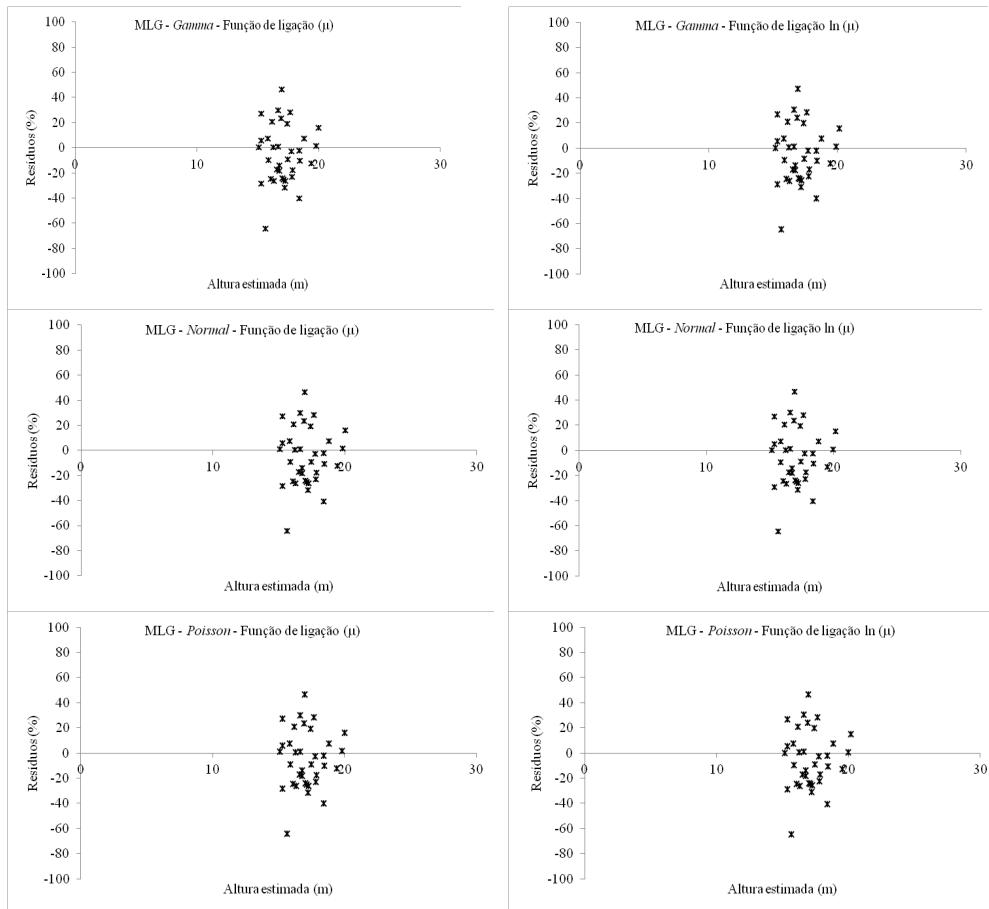


Figura 1. Análise gráfica de resíduos da técnica de Modelos Lineares Generalizados (MLG) para a altura total (h) em função do diâmetro à altura do peito (dap) para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra - PR.  
Figure 1. Graphical analysis of residuals of the technique of Generalized Linear Models (MLG) for the total height (h) as a function of the diameter at the breast height (dap) for *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud in Salto do Lontra - PR.

Tabela 3. Parâmetros estimados utilizando a técnica de Modelos Lineares Generalizados (MLG), com seus critérios de ajustes para o Incremento Periódico Anual em área transversal (IPAg) em função do diâmetro à altura do peito (dap) e da altura total (h) para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra - PR.

Table 3. Estimated parameters using the Generalized Linear Models (MLG) technique, with their adjustment criteria for the Periodic Annual Increment in the transversal area (IPAg) as a function of the diameter at the breast height (dap) and the total height (h) for *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud in Salto do Lontra - PR.

MLG	FL	Parâmetros estimados			Critérios de ajuste		
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	D	AIC	BIC
Gamma	$(\mu)$	-12,8906	2,1691	-0,4296	1,7467	266,4635	272,6849
	$\ln(\mu)$	2,5225	0,0459	-0,0095	1,9868	271,0116	277,233
Normal	$(\mu)$	-14,686	2,166	-0,3212	4598,1197	278,0576	284,279
	$\ln(\mu)$	2,6294	0,0409	-0,0058	4666,6384	278,5753	284,7667
Poisson	$(\mu)$	-13,14	2,1521	-0,3862	86,1707	288,5266	293,1927
	$\ln(\mu)$	2,6053	0,0428	-0,0084	92,2546	294,6105	299,2766

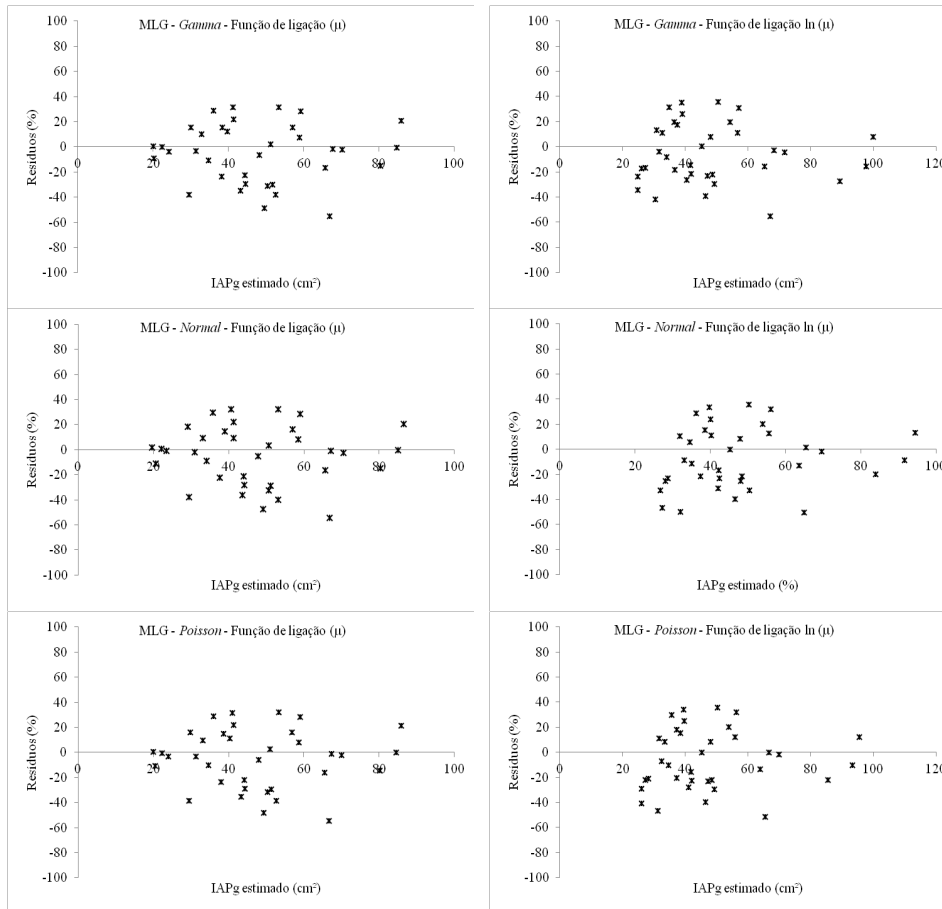


Figura 2. Análise gráfica de resíduos da técnica de Modelos Lineares Generalizados (MLG) para a Incremento Periódico Anual em área transversal (IPAg) em função do diâmetro à altura do peito (dap) e altura total (h) para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra - PR.

Figure 2. Graphical analysis of residuals of the technique of Generalized Linear Models (MLG) for Periodic Annual Increment in the transversal area (IPAg) as a function of the diameter at the breast height (dap) and total height (h) for *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra - PR.

Para a comparação dos Modelos Lineares Generalizados com a técnica de RNA, foram selecionados os melhores modelos, como também, as melhores redes com base nos critérios pré-estabelecidos.

A Tabela 4 apresenta as estatísticas para modelagem da altura de louro-pardo em função do diâmetro à altura do peito para as técnicas de MLG e RNA.

Analisando a mesma, pode-se perceber superioridade nos parâmetros estatísticos da rede neural artificial selecionada, a qual apresentou maior correlação, bem como, menor valor da raiz quadrada do erro médio, fatores que ressaltam a precisão da técnica para estimativa da altura total das árvores, levando

em consideração que quanto mais próximo de 1 o valor de correlação existente e quando menor o valor de raiz quadrada do erro médio melhores serão as estimativas.

A análise gráfica dos resíduos (Figura 3) demonstra uma melhor homogeneidade da distribuição para as RNAs, concentrando os resultados em menores porcentagens (-40% e +50%) quando comparadas com o resultado obtido pelo MLG (-70% e +60%).

Por fim, a análise realizada para a estimativa do incremento periódico anual em área basal em função do diâmetro e da altura resultou nos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 5.

Tabela 4. Estatísticas de qualidade de ajuste para a modelagem da altura total (h) em função do diâmetro à altura do peito (dap) de árvores de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra - PR, através do MLG *Gamma* função ln ( $\mu$ ) e redes neurais artificiais (RNA).

Table 4. Goodness of fit statistics for total height (h) modeling as a function of the diameter at the breast height (dap) of *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud in Salto do Lontra - PR, through the MLG *Gamma* function ln ( $\mu$ ) and the artificial neural networks (RNA).

Modelo	RQEM (%)	$r_{hh}$
<i>Gamma</i> ln ( $\mu$ )	24,85	0,28
RNA	3,09	0,54

RQME= raiz quadrada do erro médio;  $r_{hh}$ = correlação entre os valores observados e estimados; RNA= Redes Neurais Artificiais.

Tabela 5. Estatísticas de qualidade de ajuste para a modelagem do Incremento Periódico Anual em área transversal em função do diâmetro à altura do peito (dap) e da altura total (ht) de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra - PR, através do MLG *Gamma* função de ligação ( $\mu$ ) e redes neurais artificiais (RNA).

Table 5. Goodness of fit statistics for Periodic Annual Increment in the transversal area (IPAg) modeling as a function of the diameter at the breast height (dap) and total height (h) of *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud in Salto do Lontra - PR, through the MLG *Gamma* function ln ( $\mu$ ) and the artificial neural networks (RNA).

Modelo	RQEM (%)	$r_{hh}$
<i>Gamma</i> ( $\mu$ )	24,12	0,81
RNA	10,86	0,94

RQME= raiz quadrada do erro médio;  $r_{hh}$ = correlação entre os valores observados e estimados; RNA= Redes Neurais Artificiais.

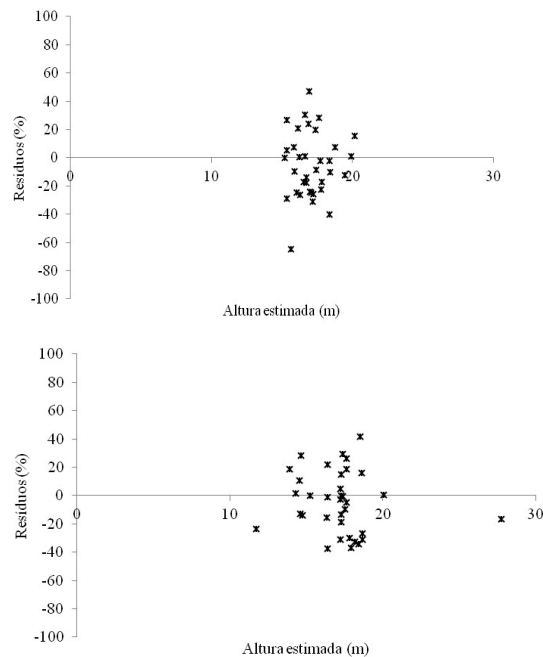
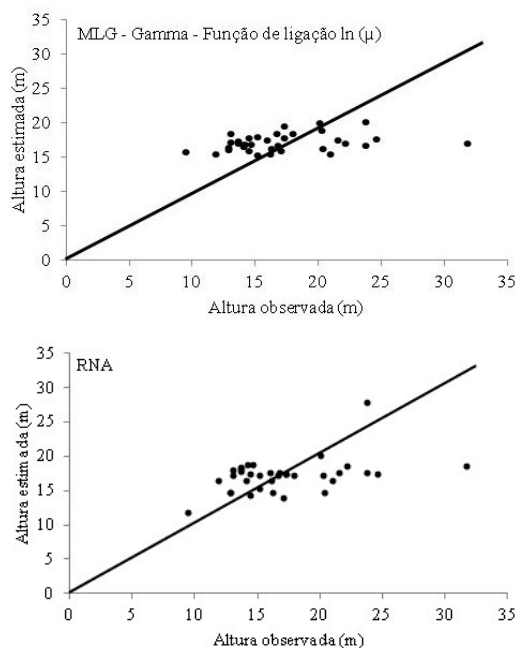


Figura 3. Altura observada e estimada e distribuição gráfica dos resíduos percentuais do melhor MLG e redes neurais artificiais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra - PR.

Figure 3. Observed and estimated height and the graphical distribution of percent residuals of the best MLG and artificial neural networks for *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud in Salto do Lontra - PR.

Novamente, as RNAs obtiveram resultados satisfatórios sobre a técnica de MLG, apresentando alta correlação entre os valores e menor erro quando comparado ao melhor MLG.

A análise gráfica (Figura 4), demonstrou melhores estimativas quando utilizada as técnicas de RNA, uma vez que a distribuição dos resíduos se apresenta mais homogênea. A técnica de MLG apresentou resultados mais extremos e de maior amplitude de valores.

#### 4. DISCUSSÃO

Considerando as estimativas das variáveis analisadas, quando realizadas pelos modelos lineares generalizados obtém-se uma melhor precisão e destaque para distribuição *Gamma*, a qual foi selecionada para a modelagem da altura e do incremento periódico em área transversal para *Cordia Trichotoma* (louro-pardo), em vista dos bons ajustes e estimativas, os quais têm potencial de descrever a relação entre a variável dependente e as independentes.

A utilização dessa técnica oferece grande potencial na modelagem, uma vez que é amplamente utilizado com dados contínuos que apresentam superdispersão e, conseqüentemente, heterogeneidade de variância, conforme descreve Gea-Izquierdo & Cañellas (2009) e Contreras et al. (2011).

Considerando a variável altura total, observou-se que a distribuição *Gamma* ln ( $\mu$ ) apresentou os melhores critérios de ajuste, com menor valor de Desvio (D), sendo que esse tem potencial de indicar que o ajuste se equivale aos resultados de ajustes de que possuem um maior número de parâmetros (PAULA, 2010).

Hess et al. (2015), também destacaram a função *Gamma*, como o modelo que gerou ajustes de melhor acurácia para estimativas da altura de *Pinus taeda* L. na região do Planalto Catarinense. Contudo, a função de maior precisão obtida pelos autores foi a função identidade.

Quando analisado o incremento periódico em área transversal, a função de ligação identidade promoveu os

melhores resultados. Costa et al. (2016), na estimativa do incremento em área transversal para árvores livres de *Araucaria angustifolia*, também verificaram superioridade nos resultados utilizando *Gamma* ( $\mu$ ). Cunha (2013) indicou a função *Gamma* para a modelagem do incremento em área basal para espécies madeiráveis da Amazônia ocidental.

É importante ressaltar que mesmo com bons ajustes, os MLGs não proporcionaram as melhores estimativas quando comparados a modelagem realizada por RNA. Esse fato pode estar relacionado com a habilidade das redes neurais para aprender e generalizar, tornando-as capazes de resolver

problemas complexos com precisão (HAYKIN, 2001).

Mesmo sendo considerada uma metodologia recente as RNAs vêm apresentando resultados satisfatórios para a modelagem de variáveis biométricas. Vendruscolo et al. (2015) e Binoti et al. (2013), salientam a superioridade desta técnica quando comparada a análise de regressão para estimativas da altura em eucalipto. Além da variável altura Araújo (2015), observou estimativas precisas para volume e afilamento do fuste da espécie *Calycophyllum spruceanum* Benth.

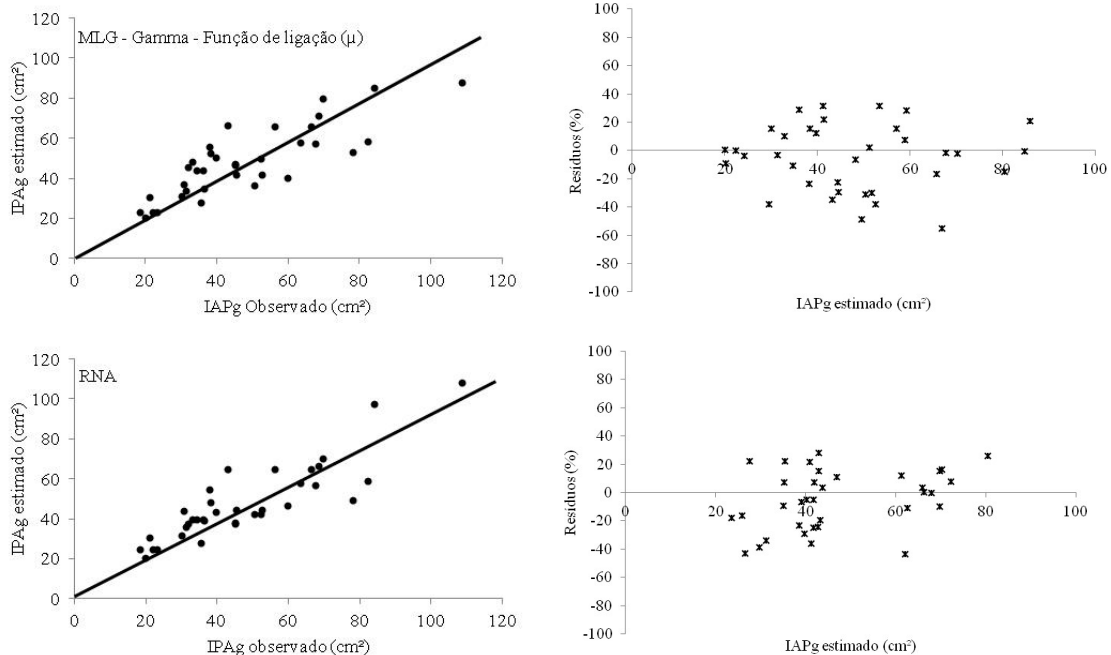


Figura 4. Incremento Periódico Anual em área transversal observado e estimado em função do diâmetro à altura do peito (dap) e da altura total (ht) e a distribuição gráfica dos resíduos percentuais do melhor MLG e redes neurais artificiais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud em Salto do Lontra - PR

Figure 4. Periodic Annual Increment in the transversal area observed and estimated as a function of the diameter at the breast height (dap) and the total height (h), and the graphical distribution of percent residuals of the best MLG and artificial neural networks for *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud in Salto do Lontra - PR.

Portanto, ressalta-se que a partir da utilização da modelagem por RNA podemos realizar a predição da altura e do incremento em área transversal com elevada precisão. Contudo, devemos salientar que estimativas realizadas com um pequeno número de variáveis de entrada podem ser utilizadas para áreas que não possuem elevada heterogeneidade, tendo em vista que o incremento depende de diversas variáveis como diâmetro inicial, altura, competição e sitio florestal.

Quando utilizando RNAs e se possível as estimativas com pequeno número de variáveis de entrada como neste trabalho, a atividade de coleta de dados é facilitada, dando maior agilidade a esse processo e, conseqüentemente, gerando economia de recursos.

Portanto, ressalta-se que a partir da utilização da modelagem por RNA por vezes podemos realizar a predições a partir de um numero reduzido de variáveis de fácil obtenção em campo.

## 5. CONCLUSÕES

Na modelagem utilizando MLG foi verificado melhores estimativas utilizando o campo *Gamma*, sendo a função de

ativação logarítmica indicada para estimativa da altura e a função identidade para estimativa do incremento em transversal.

As duas técnicas avaliadas são eficientes para a área de estudo, contudo, a modelagem por RNAs apresentou superioridade nos resultados estatísticos, apresentando um menor erro de estimativa, esse em torno de 10%.

Essas estimativas são de grande importância pois possibilitam o conhecimento do crescimento das árvores auxiliando no planejamento de intervenção e outras atividades de manejo florestal.

Sugere-se para futuros estudos a inclusão de outras variáveis de entrada para a predição do incremento em área transversal, gerando melhorias nas estimativas, bem como, possibilitando a utilização da técnica em áreas com maior heterogeneidade.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. Q. de; MELLO, A. A. de; DÓRIA NETO, A. L.; FERRAZ, R. C. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária**

- Brasileira**, v. 49, p. 306-315, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000400009.
- ARAÚJO, B. H. P. **Modelagem da altura, volume e afilamento do fuste de *Calycophyllum spruceanum* Benth. Empregando regressão e redes neurais artificiais**. 2015. 53f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2015.
- BINOTI, M. L. M. DA S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Aplicação de redes neurais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, v.37, n.4, p.639-645, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000400007>.
- CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, p. 1939-1949, 2011. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.08.031.
- COSTA, M. P.; SOUZA, C. A. M.; ALMEIDA, A. Q.; NAPPO, M. E. **Estudo da relação hipsométrica para a espécie *Joannesia princeps* Vell. estabelecida em plantio misto**. VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 2012.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modeling of increment in basal area of open growth trees of *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v.34, n.3, p.522-532, 2016.
- CUNHA, T. A. **Crescimento de espécies florestais madeiráveis como subsídio para o manejo florestal na Amazônia Ocidental**. 2013. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Linear mixed model to describe the basal area increment for individual cedro (*Cedrela odorata* L.) trees in Occidental Amazon, Brazil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.3, p. 461-470, 2013. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509810557>.
- GEA-IZQUIERDO, G.; CAÑELLAS, I. Analysis of Holm Oak intraspecific competition using Gamma regression. **Forest Science**, Bethesda, v. 55, p. 310-322, 2009.
- HESS, A. F.; CIANORSCHI, L. D.; SILVESTRE, R.; SCARIOT, R.; RICKEN, P. Aplicação dos modelos lineares generalizados para estimativa do crescimento em altura. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 84, p. 427-433, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.6.04>.
- HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. Porto Alegre: 2001. 900p.
- IBGE. **Cidades: Salto do Lontra**. Disponível em: <[www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=412300](http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=412300)>. Acesso em: 09 mar 2017.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, v.1., p. 384, 2008.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: UNICENTRO. 2014. 316p.
- MENDONÇA, A. C. A. **Caracterização e simulação dos processos dinâmicos de uma área de floresta tropical de terra firme utilizando matrizes de transição**. 2003. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.
- PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2010.
- RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: Edgar Blüncher, 1971. 294p.
- SAS. **The SAS System for Windows**. Copyright (c) 1999-2001 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 1999.
- VENDRUSCOLO, D. G. S. DRESCHER, R.; SOUZA, H. S.; MOURA, J. P. V. M.; MAMORÉ, F. M. D.; SIQUEIRA, T. A. S. Estimativa da altura de eucalipto por meio de regressão não linear e Redes Neurais Artificiais. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v.33, n.4, p. 556-569, 2015. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.17.42.5684>