










## RELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO DE COPA E O DIÂMETRO A 1,30M DO SOLO DE ÁRVORES URBANAS LOCALIZADAS EM AÇAILÂNDIA, MA

Ana Claudia Bezerra Zanella<sup>1</sup>, Ana Paula Bezerra Zanella<sup>1</sup>, Jose Lucas Vieira Pinheiro<sup>1</sup>, Adriano da Costa Rocha<sup>1</sup>, Osmar Custodio da Silva Junior<sup>1</sup>, Nadilton Alves de Sousa<sup>1</sup>, Andressa Ribeiro<sup>1</sup>, Antonio Carlos Ferraz Filho<sup>1</sup>

1 Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, Brasil. E-mail: anaaclauidiaaa@outlook.com; anapaula\_a.p@outlook.com; jl2000e14@gmail.com; ceep30anos@gmail.com; o-junior007@hotmail.com; nadiltondasnegas@gmail.com; andressa.florestal@ufpi.edu.br; acferrazfilho@ufpi.edu.br  
Autora correspondente: Ana Claudia Bezerra Zanella. E-mail: anaaclauidiaaa@outlook.com.

### RESUMO

O objetivo principal do estudo foi ajustar modelos matemáticos para descrever a relação entre o diâmetro de copa a partir do diâmetro a 1,30 m do solo para indivíduos de *Handroanthus* sp. e *Cenostigma pluviosum*, amostrados no município de Açailândia – MA. Em cada indivíduo foram tomadas as medidas de circunferência a 1,30 m do solo e oito raios de projeção da copa nos sentidos cardeais: norte, noroeste, oeste, sudoeste, sul, sudeste, leste e nordeste. Os modelos foram avaliados pelo coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), o erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ %), o valor de F e a análise gráfica dos resíduos. Conforme os critérios estatísticos, o modelo selecionado foi o linear simples, com  $R^2_{aj}$  de 0,385 e  $S_{yx}$  de 15,20 % para *Handroanthus* sp. e  $R^2_{aj}$  de 0,846 e  $S_{yx}$  de 15,67 % para *Cenostigma pluviosum*.

**Palavras-chave:** análise de regressão; ipê-roxo; projeção da copa, sibipiruna

## RELATIONSHIP BETWEEN THE CROWN DIAMETER AND DIAMETER AT 1,30M AT FROM OF THE GROUND FOR URBAN TREES LOCATED IN AÇAILÂNDIA, MA, BRAZIL

### ABSTRACT

The main objective of the study was to adjust mathematical models to describe the relationship between crown diameter from diameter at from of the ground for individuals of *Handroanthus* sp. and *Cenostigma pluviosum*, sampled in the municipality of Açailândia, MA, Brazil. In each individual, measurements were taken of circumference at from of the ground and eight radii of projection of the crown in the cardinal directions: north, northwest, west, southwest, south, southeast, east and northeast. The models were evaluated by the adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ), the standard error of the estimate ( $S_{yx}$ %), the F value and the graphical analysis of the residuals. According to the statistical criteria, the selected model was the simple linear one, with  $R^2_{aj}$  of 0,385 and  $S_{yx}$  of 15,20% for *Handroanthus* sp. and  $R^2_{aj}$  of 0,846 and  $S_{yx}$  of 15,67% for *Cenostigma pluviosum*.

**Key words:** regression analysis; ipê-roxo; crown projection; sibipiruna

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



### INTRODUÇÃO

As árvores são essenciais para o equilíbrio do planeta e fornecem diversos serviços e funções ecossistêmicas, como sequestro de carbono, resfriamento do ambiente, filtragem de partículas nocivas do ar, redução de ruídos, funções estéticas e estruturais, além de fornecer abrigo para diversas espécies de animais e outros atributos ecológicos (Dahlhausen *et al.*, 2016).

De acordo com Durlo *et al.* (2004) o crescimento e as modificações na forma da copa são parâmetros imprescindíveis para conhecer as exigências de espaço vital de diferentes espécies arbóreas. Variáveis como altura total, altura de copa e diâmetro de copa podem ser facilmente correlacionados com variáveis de fácil obtenção, como o diâmetro 1,30m do solo (Silva *et al.*, 2017). Uma alternativa para obter conhecimento das dimensões das árvores é utilizando o ajuste de modelos de regressão (Leão *et al.*, 2017). Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo ajustar modelos estatísticos para estimar o diâmetro de copa em função do diâmetro a 1,30 do solo (D) para *Handroanthus* sp. e *Cenostigma pluviosum*, com vistas a elaboração de uma tabela de densidade x D para as espécies.

### MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente estudo foram utilizados dados coletados em árvores localizadas em áreas urbanas, no município de Açailândia, estado do Maranhão. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw (Tropical úmido), com precipitação média anual em torno de 1.635 mm ano<sup>-1</sup>. A temperatura anual varia entre 21,7 a 32,2 °C, e a umidade média relativa do ar é de 67,8 % (Correia Filho *et al.*, 2011).

Ao todo foram utilizados dados de 50 árvores da espécie *Handroanthus* sp. e 50 árvores da espécie *Cenostigma pluviosum*, com circunferência (C – medida a 1,30 m do solo) acima de 30 cm. O diâmetro e os raios das projeções da copa de cada indivíduo foram mensurados a 1,30 metro do solo. O primeiro raio foi mensurado partindo do ponto cardeal Norte, e os demais seguindo as direções Noroeste, Oeste, Sudoeste, Sul, Sudeste, Leste e Nordeste com o auxílio de uma bússola, conforme procedimento realizado por Padoin & Finger (2010). O diâmetro da copa (DC) foi estabelecido pelo dobro da média dos 8 raios mensurados.

Para descrever a relação entre o diâmetro de copa em função do diâmetro a 1,30 m do solo foram ajustados e testados 10 modelos de regressão (Tabela 2). As equações foram avaliadas segundo o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), o erro padrão da estimativa ( $S_{yx\%}$ ), o valor de F a nível de 95% de probabilidade e a análise gráfica dos resíduos. Para a análise foi utilizado o *software* Microsoft Office Excel 2013.

Para estudar a cobertura horizontal esperada dentro de um ambiente urbano, foi definido o valor percentual de cobertura de copa de 20 a 40%, conforme sugerido por Leff (2016). Em seguida, os coeficientes dos modelos apresentados na Tabela 1 foram utilizados para estimar a

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

idade e o diâmetro de uma árvore de ipê-roxo e de sibipiruna até que a árvore alcance 20 % e 40 % de cobertura de copa.

**Tabela 1.** Coeficientes utilizados na simulação do crescimento em diâmetro de copa em razão da idade

Modelo	Coeficientes			Fonte
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	
$DC = \beta_0 + \beta_1 D + \varepsilon$	3,1033	0,1781	-	Este estudo
$\ln DC = \beta_0 + \beta_1 D + \varepsilon$	2,6951	0,2040	-	
$D = e^{\beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 \ln^2 t} + \varepsilon$	-0,9686	1,1869	0,0815	Schneider <i>et al.</i> (2000)

Em que: DC = diâmetro de copa; D = diâmetro a 1,30m do solo; t = idade em anos; ln = logaritmo natural;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  = parâmetros do modelo; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> = estimativas dos parâmetros do modelo

A área total a ser simulada possui 2500 m<sup>2</sup>, o espaçamento entre mudas escolhido foi de 10 m x 10 m. O número de mudas que podem ocupar essa área utilizando este espaçamento é de 25 indivíduos. Para a área total é preciso de 500 m<sup>2</sup> de área de copa para cobrir 20% e 1000 m<sup>2</sup> de área de copa para cobrir 40% do solo, sendo que para cada árvore é preciso de 20 m<sup>2</sup> e 40 m<sup>2</sup> de copa. O diâmetro de copa de 5,05 m corresponde a área de 20 m<sup>2</sup> e o diâmetro de copa de 7,14 m para a área de 40 m<sup>2</sup>.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos utilizados com seus respectivos coeficientes estatísticos para analisar o diâmetro de copa em função do diâmetro a 1,30m do solo são apresentados na Tabela 2. O modelo linear simples sem transformação na variável dependente (Modelo 7) foi o que melhor estimou os dados de diâmetro de copa em função do D para a espécie *Cenostigma pluviosum* conforme os critérios estatísticos estabelecidos, apresentando coeficiente de determinação ajustado de ( $R^2_{aj.} = 0,846$ ) e erro padrão da estimativa de ( $S_{yx} = 15,67\%$ ). Esses resultados estão de acordo com os observados nos trabalhos de Costa (2011) e Klein et al. (2017), que encontraram para o modelo linear simples, valores de  $R^2_{aj.}$  de 0,96 para árvores de *Araucaria angustifolia* e  $R^2_{aj.}$  de 0,47 para árvores da espécie *Parapiptadenia rígida*, respectivamente.

O comportamento dos dados observado sobre a linha de regressão é mostrado na Figura 1A, assim como os resíduos gerados para estimar o diâmetro de copa em função do D (Figura 1B). Os resíduos do modelo selecionado para a espécie *Handroanthus* sp. apresentaram distribuição homogênea, sem a tendência sistemática de superestimativa ou subestimativa, com os erros compreendidos entre  $\pm 3$  m. Já a distribuição residual exibida pelo modelo selecionado para a espécie *Cenostigma pluviosum* apresentou uma leve tendência em superestimar ou subestimar os dados, com os valores ficando compreendidos entre  $\pm 5$  m.

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

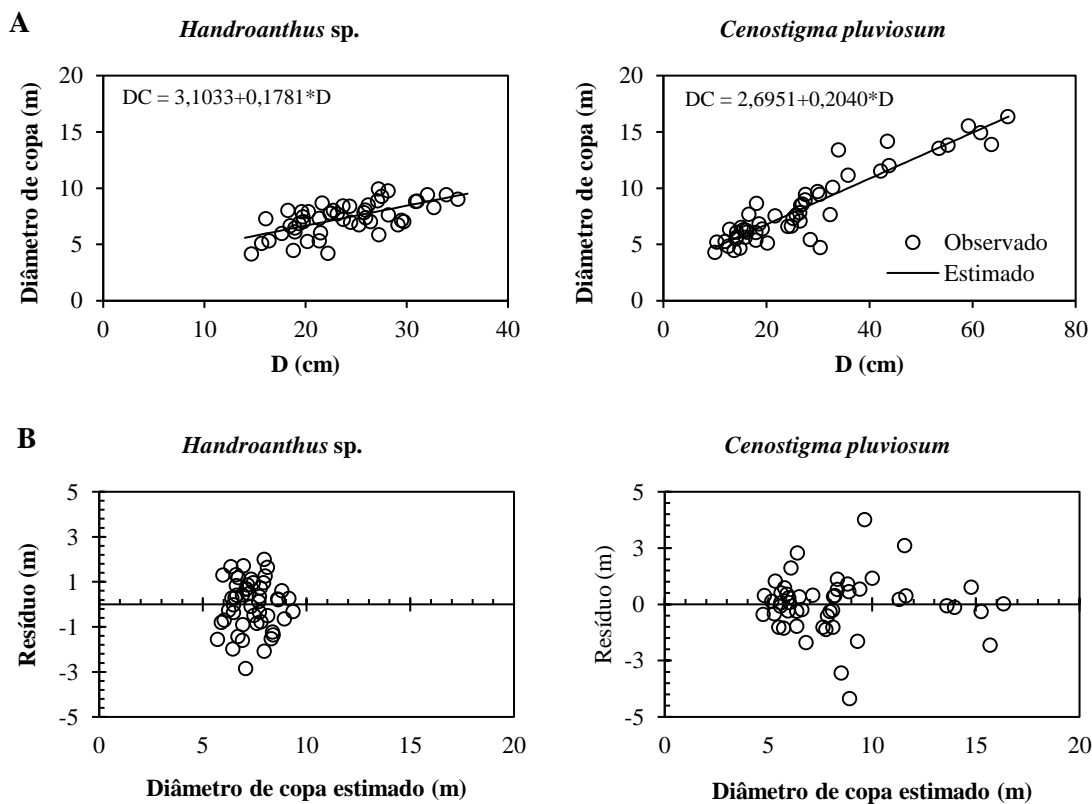
**Tabela 2.** Modelos ajustados e suas estatísticas de ajuste para estimativa do diâmetro de copa (DC)

Modelo	<i>Handroanthus sp.</i>					
	Coeficientes			Ajuste		
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{vix}(\%)$	F
(1) $1/DC = \beta_0 + \beta_1(1/D)$	0,048	2,140		0,375	15,33	29,502
(2) $\ln DC = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$	0,745 <sup>ns</sup>	0,078 <sup>ns</sup>	-0,0011 <sup>ns</sup>	0,387	15,33	15,325
(3) $\log DC = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$	0,324 <sup>ns</sup>	0,034 <sup>ns</sup>	-0,0005 <sup>ns</sup>	0,387	15,33	15,325
(4) $\sqrt{DC} = \beta_0 + \beta_1 D$	1,897	0,034		0,379	15,27	30,396
(5) $\ln DC = \beta_0 + \beta_1 D$	1,365	0,026		0,368	15,41	28,738
(6) $\ln DC = \beta_0 + \beta_1 \ln^2 D$	1,001	0,098		0,381	15,25	30,355
(7) $DC = \beta_0 + \beta_1 D$	3,103	0,178		0,385	15,20	31,727
(8) $DC = \beta_0 + \beta_1 D^2$	5,260	0,004		0,366	15,43	29,277
(9) $\sqrt{DC} = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$	1,210	0,092	-0,0012	0,393	15,26	15,839
(10) $\log DC = \beta_0 + \beta_1 D$	0,593	0,011		0,368	15,41	28,738

Modelo	<i>Cenostigma pluviosum</i>					
	Coeficientes			Ajuste		
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{vix}(\%)$	F
(1) $1/DC = \beta_0 + \beta_1(1/D)$	0,055	1,791		0,724	20,98	105,156
(2) $\ln DC = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$	1,230	0,037	-0,0002	0,848	15,73	94,351
(3) $\log DC = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$	0,534	0,016	-0,0001	0,848	15,73	94,351
(4) $\sqrt{DC} = \beta_0 + \beta_1 D$	1,919	0,033		0,836	16,18	221,865
(5) $\ln DC = \beta_0 + \beta_1 D$	1,441	0,022		0,804	17,69	172,921
(6) $\ln DC = \beta_0 + \beta_1 \ln^2 D$	1,002	0,100		0,844	15,77	187,945
<b>(7) <math>DC = \beta_0 + \beta_1 D</math></b>	<b>2,695</b>	<b>0,204</b>		<b>0,846</b>	<b>15,67</b>	<b>270,523</b>
(8) $DC = \beta_0 + \beta_1 D^2$	5,681	0,003		0,798	17,96	194,412
(9) $\sqrt{DC} = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$	1,736	0,046	-0,0002 <sup>ns</sup>	0,848	15,75	113,356
(10) $\log DC = \beta_0 + \beta_1 D$	0,626	0,010		0,804	17,69	172,921

Em que: DC = diâmetro de copa (m); D = diâmetro a 1,30 m do solo (cm); Ln = logaritmo neperiano; log = logaritmo na base 10;  $\beta_i$  = parâmetros do modelo (i = 0, 1, 2);  $b_i$  = estimativas dos parâmetros do modelo (i = 0, 1, 2)



**Figura 1.** A - Relação do diâmetro de copa (DC) com o diâmetro a 1,30m do solo (D); B - Resíduos e valores estimados para diâmetro de copa das árvores de *Handroanthus sp.* e *Cenostigma pluviosum*

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Utilizando a equação  $DC = \beta_0 + \beta_1 D$ , foi determinado que para árvores de *Handroanthus* sp. e *Cenostigma pluviosum* atingirem um diâmetro de copa de 5,05 m, é preciso que elas tenham 10,9 cm e 11,5 cm de diâmetro, respectivamente. Para alcançar o diâmetro de copa de 7,14 m, é preciso que o diâmetro das árvores seja de 22,7 cm e 21,8 cm, respectivamente (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resultado da simulação para estimar o diâmetro a 1,30m do solo (D) e a idade para as árvores atingirem 20 e 40% de cobertura de copa para uma área de 2.500 m<sup>2</sup>

DC objetivo (m)	<i>Handroanthus</i> sp.		<i>Cenostigma pluviosum</i>	
	D (cm)	Idade (anos)	D (cm)	Idade (anos)
5,05 (20%)	10,9	12,0	11,5	12,5
7,14 (40%)	22,7	20,7	21,8	20,1

Dessa forma, para atingir 20% de cobertura de copa, é preciso que as árvores cresçam até os 12 anos de idade (*Handroanthus* sp.) e 12,5 anos (*Cenostigma pluviosum*). Para o diâmetro de copa atingir os 40% de cobertura, as árvores precisam crescer até os 20,7 anos (*Handroanthus* sp.) e 20,1 anos (*Cenostigma pluviosum*).

### CONCLUSÃO

Com base na avaliação dos parâmetros que compõem a estatística de precisão, nenhum modelo representou significativamente os dados de *Handroanthus* sp. Para a espécie *Cenostigma pluviosum* o modelo linear simples:  $DC = \beta_0 + \beta_1 D + \varepsilon$  sem alteração das variáveis empregadas, se mostrou o mais adequado para descrever a relação entre o diâmetro de copa em função do diâmetro a 1,30m do solo por apresentar maior valor de  $R^2_{aj}$  e menor valor de  $S_{yx}(\%)$ .

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Correia Filho, F. L.; Gomes, É. R.; Nunes, O. O.; Lopes Filho, J. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Açailândia. Teresina: CPRM; Serviço Geológico do Brasil, 2011. 39p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15303>
- Costa, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze**, Lages, SC. 2011. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8689>
- Dahlhausen, J.; Biber, P.; Rötzer, T.; Uhl, E.; Pretzsch, H. Tree species and their space requirements in six urban environments worldwide. **Forests**, v. 7, n. 6, e111, 2016. <https://doi.org/10.3390/f7060111>.
- Durlo, M. A.; Sutili, F. J.; Denardi, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p.79-89, 2004. <https://doi.org/10.5902/198050981808>.
- Klein, D. R.; Krefta, S. M.; Andrade, M. M.; Atanzio, K. A.; Krefta, S. C.; Weber, V. P. Relação entre diâmetro e altura do peito e diâmetro de copa para três espécies nativas de ocorrência em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Cultivando o Saber**, v. 10, n. 3, p.27-34, 2017. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/802>
- Leão, T. D. S.; Mello, A. A.; Almeida, A. Q.; Moura, M. A. Ajuste de modelos para estimativa do diâmetro de copa em uma área de reflorestamento misto na Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 35, n. 3, p.523-536, 2017. <https://biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/163>
- Leff, M. **The sustainable urban forest: a step-by-step approach**. Philadelphia: Davey Institute; USDA Forest Service USFS Philadelphia Field Station, 2016. 102p. Disponível em: [https://www.itreetools.org/documents/485/Sustainable\\_Urban\\_Forest\\_Guide\\_14Nov2016\\_pw6WcW0.pdf](https://www.itreetools.org/documents/485/Sustainable_Urban_Forest_Guide_14Nov2016_pw6WcW0.pdf)
- Padoin, V.; Finger, C. A. G. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p.95-105, 2010. <https://doi.org/10.5902/198050981764>.

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Schneider, P. S. P.; Schneider, P. R.; Finger, C. A. G. Crescimento do ipê-roxo, *Tabebuia impetiginosa* Martius ex A. P. de Candolle, na depressão central do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p.91-100, 2000. <https://doi.org/10.5902/19805098483>.

Silva, D. D. F.; Santos, D. M.; Caldeira, S. F. Equações para estimativa do diâmetro da copa de teca em Sistema de Integração Lavoura, Pecuária e Floresta. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, 3., 2017, Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas: Galoá, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/cbctem/papers/equacoes-para-estimativa-do-diametro-da-copa-de-teca-em-sistema-de-integracao-lavoura--pecuaria-e-floresta>