

AJUSTE DE MODELOS PARA ESTIMATIVA DO DIÂMETRO DE COPA EM UMA ÁREA DE REFLORESTAMENTO MISTO NA MATA ATLÂNTICA

Thamyres Dias da Silva LEÃO¹
Anabel Aparecida de MELLO¹
André Quintão de ALMEIDA²
Maxmüller Andrade MOURA¹

- RESUMO: O presente trabalho teve como principal objetivo ajustar modelos de regressão para estimar o diâmetro de copa, a partir do diâmetro à altura do peito, em uma área de Mata Atlântica localizada no município de Laranjeiras, Sergipe. O estudo foi realizado utilizando 30 parcelas permanentes de 600 m² (20m×30m), distribuídas sistematicamente, em uma área em processo de recuperação, pertencente à empresa Votorantim Cimentos S.A. Em cada parcela foram tomadas as medidas da circunferência à altura do peito (CAP) para indivíduos com CAP > 15 cm, e o diâmetro de copa. A partir dos valores de CAP, o diâmetro à altura do peito de cada indivíduo foi estimado. Posteriormente, modelos de regressão foram ajustados entre os valores de diâmetro à altura do peito e o diâmetro de copa, considerando todas as espécies encontradas e para as três espécies mais abundantes. Os modelos foram avaliados pelo coeficiente de determinação ajustado, o erro padrão da estimativa, o valor de F e a análise gráfica de resíduos. O modelo geral com melhor desempenho apresentou um coeficiente de determinação de 0,5 e um erro padrão da estimativa de 34,8%. Ao considerar os modelos específicos para as espécies *Cassia grandis* Lf., *Enterolobium contortisliquum* Vell. Morang. e *Schinus terebinthifolius* foram obtidos os coeficientes de determinação de 0,70, 0,55 e 0,41, respectivamente; e erro padrão da estimativa variando de 10% a 22%. A relação entre o diâmetro de copa em função do DAP segue uma tendência linear, podendo ser estimado pelo diâmetro à altura do peito, o que implicará como indicador de desbaste e assim predizer o número máximo de árvores por unidade de área a medida em que vão crescendo. Nota-se uma melhoria significativa nos modelos quando ajustados por espécie.
- PALAVRAS-CHAVE: Modelagem; cobertura de copas; recuperação.

1 Introdução

A Mata Atlântica é formada por florestas ombrófilas, estacionais e ecossistemas associados, como restingas, manguezais e campos de altitude (MMA, 2014). Ocupava

¹ Universidade Federal de Sergipe - UFS, Departamento de Ciências Florestais, Avenida Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000, São Cristóvão, SE, Brasil. E-mail: thamyrestham@yahoo.com.br; anabel_mello@yahoo.com.br; max.floresta@hotmail.com

² Universidade Federal de Sergipe - UFS, Departamento de Engenharia Agrícola, Avenida Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000, São Cristóvão, SE, Brasil. E-mail: andrequ@gmail.com

17% da área total do Brasil, mas por ocasião da colonização europeia foi desmatada para a execução de várias atividades, como a extração do ouro e do pau-brasil, além do cultivo de cana de açúcar e café. Nos dias atuais, o desmatamento segue com a industrialização e o urbanismo (CANSI, 2007; MMA, 2011).

Esse bioma é um dos mais importantes do Brasil, pois abriga cerca de 20.000 espécies vegetais (endêmicas e ameaçadas de extinção) e exerce influência direta na vida de aproximadamente 120 milhões de brasileiros que vivem em seu domínio (MMA/SBF, 2010). Atualmente, os remanescentes de Mata Atlântica no Brasil representam cerca de 12,5% dos 1,3 milhões de km² originais e encontram-se em diferentes estágios de regeneração, considerando que em fragmentos acima de 100 hectares, apenas em torno de 8,5% estão bem conservados (INPE, 2014). Apesar dessa importância, existe uma redução significativa do bioma devido às formas de uso da terra e do modo de produção que o Brasil adota desde a colonização europeia.

Ao longo das últimas três décadas do século XX esse processo de degradação foi acelerado por causa do aumento das práticas agrícolas, especulações imobiliárias, expansão das lavouras e pastagens e da exploração madeireira, resultando em milhões de hectares desflorestados, causando a fragmentação de *habitats* e reduzindo a maioria dos animais e plantas nativas (YOUNG, 2005; PINTO *et al.*, 2006; PINTO *et al.*, 2009). Por conta disso é necessário haver uma mudança nas relações sociais e econômicas com o bioma, a fim de recuperá-lo e conservar seus remanescentes.

Nesse processo de recuperação, é necessário reconhecer os fatores que influenciam no processo de crescimento das florestas, principalmente aqueles que se relacionam com a forma da copa das árvores e o diâmetro, visto que a copa exerce grande influência na captação de energia fotossintética sendo considerada indicadora de competição por recursos (MELO *et al.*, 2007; WINK *et al.*, 2012).

Além disso, a relação entre essas variáveis podem descrever o desenvolvimento das espécies ao longo dos anos e a capacidade de regeneração da área degradada. Em especial, as relações entre diâmetro de copa e diâmetro à altura do peito, que são muito importantes como indicadores de recuperação e conseqüentemente, no desenvolvimento estrutural da floresta (PADOIN e FINGER, 2010). Por isso a determinação do espaço horizontal nas florestas e a sua relação com a dimensão das árvores tem sido preocupação de vários pesquisadores (NUTTO *et al.*, 2001; NUTTO, 2001; DURLO *et al.*, 2004).

Entretanto, a quantificação da dimensão das copas requer muito tempo quando comparado com a obtenção de variáveis de fácil medição, como o diâmetro à altura do peito (DAP). Então, já que o diâmetro da copa é facilmente correlacionado com o diâmetro a 1,30 m do solo e possui uma alta correlação (SANQUETTA *et al.*, 2014), uma alternativa para obter conhecimento sobre essas dimensões é utilizando o ajuste de modelos de regressão para estimar o diâmetro da copa (DC) em função do DAP. Porém, no Brasil existem poucos estudos que relacionam essas variáveis. Segundo Tonini e Arco-Verde (2005), os pesquisadores Hans Burger e Asmann foram os pioneiros a estudar sobre essas relações. Recentemente destaca-se as pesquisas realizadas por Nutto (2001), Durlo *et al.* (2001) e Sanquetta *et al.* (2014).

Um modelo matemático visa basicamente, explicar as observações de uma variável dependente por meio de efeitos que se atribuem a outra variável independente, podendo ser representado através de equações, tabelas ou gráficos (CHAVES, 2013; PÁSCOA, 2014). Podendo servir como instrumento para avaliar e afirmar se a floresta está apresentando boas condições de recuperação, tornando-se uma ferramenta importante e

poderosa na ciência florestal, ajudando no entendimento da dinâmica da floresta, otimizando o tempo em campo e auxiliando na avaliação das condições estruturais em que se encontram remanescentes florestais (BATISTA, 2014).

No presente trabalho, objetivou-se ajustar e avaliar modelos de regressão para estimar o diâmetro da copa a partir do diâmetro à altura do peito, em uma área de Mata Atlântica em processo de recuperação, no município de Laranjeiras, SE.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em um fragmento de Mata Atlântica pertencente à empresa Votorantin Cimentos S.A, com área de 46 hectares, localizada no município de Laranjeiras, região Leste do Estado de Sergipe, região de tabuleiros costeiros do Brasil. No ano de 2005 foi iniciado o processo de recuperação florestal na área, como medida de compensação ambiental pelas atividades desenvolvidas na empresa, através do plantio de diversas espécies nativas, utilizando um espaçamento de 3x3m.

A área de estudo localiza-se a uma latitude central de 10°48'23'' sul e longitude central de 37°10'12'' oeste, estando a uma altitude de aproximadamente nove metros. Seu clima é seco e sub-úmido, com temperatura média anual de 25,2°C e precipitação média anual de 1279,3 mm, com intervalo chuvoso entre os meses de março a agosto. Apresenta solos podzólico vermelho amarelo, brunizem avermelhado, podzólico vermelho amarelo equivalente eufórico, hidromórficos e indiscriminados de mangues (BOMFIN *et al.*, 2002).

2.2 Coleta de dados

No ano de 2014 foram instaladas na área 30 parcelas fixas de 30 x 20 m (600 m²). As parcelas foram distribuídas sistematicamente, sendo que para localizá-las, uma malha de pontos foi distribuída no mapa de acordo com um intervalo “K” de 127 m, onde cada ponto representou uma parcela, totalizando uma área amostral de 1,8 ha. Este intervalo foi calculado pela raiz quadrada da divisão do tamanho total da área pelo número de parcelas utilizadas. Todas as parcelas foram georeferenciadas com GPS GARMIN 60 CSx, com coordenadas UTM, visando a fácil localização das mesmas, em caso de averiguação dos dados ou remedições.

Nas parcelas foram medidas as circunferências de todos os indivíduos que possuíam Circunferência à Altura do Peito (CAP – medida à 1,30m de altura) acima de 15 cm, com o auxílio de uma fita métrica e posteriormente transformadas em diâmetro, para ajuste das equações. Para a obtenção do diâmetro de copa (DC) foram medidos dois diâmetros perpendiculares entre si, sendo o primeiro tomado no lado de maior largura da copa, metodologia também utilizada por Weber (2007) e Nutto *et al.* (2001) e Orellana e Koehler (2008) que utilizaram 4 raios de copa. Estas medidas foram obtidas com a utilização de uma trena de 30 m, e seus limites definidos pela observação visual de cada extremidade. A altura total das árvores foram medidas com uma vara telescópica.

2.3 Ajuste dos modelos

Para verificar as correlações existentes entre as variáveis DC e DAP, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson. Foram testados nove modelos, descritos na Tabela 1, comumente utilizados para estimar o diâmetro da copa (DC) em função do DAP (ORELLANA e KOEHLER, 2008; SANQUETTA *et al.*, 2014; NUTTO *et al.*, 2001; WEBER, 2007; TONINI e ARCO VERDE, 2005). Todos estes modelos foram avaliados considerando todas as espécies encontradas na área de estudo. Além disso, foram ajustados modelos individuais para cada uma das três espécies de maior ocorrência na área avaliada.

No intuito de encontrar novos modelos de estimativa de diâmetro de copa, além dos modelos descritos na Tabela 1, todos com base no DAP, foram ajustados modelos de regressão considerando também como variável independente os valores de altura das árvores (Modelo 10 da Tabela 1).

Table 1 - Modelos aritméticos, logarítmicos e semi-logarítmicos selecionados para estimar o diâmetro da copa

Id	Modelo	Fonte
1	$\ln DC = \beta_0 + \beta_1 DAP$	ORELLANA e KOEHLER (2008)
2	$DC = \beta_0 DAP^{\beta_1}$	SANQUETTA <i>et al.</i> (2014)
3	$DC = \beta_0 + \beta_1 DAP$	NUTTO <i>et al.</i> (2001)
4	$\ln DC = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP$	WEBER (2007)
5	$DC = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2$	SANQUETTA <i>et al.</i> (2014)
6	$DC = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$	NUTTO (2001)
7	$\log DC = \beta_0 + \beta_1 DAP$	WEBER (2007)
8	$\ln DC = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{DAP^3} \right) + \beta_2 \left(\frac{1}{DAP^2} \right) + \beta_3 (DAP)$	TONINI e ARCO-VERDE (2005)
9	$\ln DC = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP^2$	TONINI e ARCO-VERDE (2005)
10	$DC = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 H$	Proposto neste estudo

Id = Identificação; *DC* = diâmetro de copa (m); *log DC* = logaritmo do diâmetro de copa (base 10); *ln DC* = logaritmo neperiano do diâmetro de copa; *DAP* = diâmetro à altura do peito (cm); *b_i* = coeficientes dos modelos.

As equações ajustadas (Tabela 1 – Id. 1, 2, 3 e 4) foram avaliadas segundo o coeficiente de determinação ajustado (*R²aj.*), o erro padrão da estimativa (*S_{yx}*) e o valor de F, com probabilidade de 95%. As análises da normalidade, homogeneidade e independência dos resíduos foram realizados pelos gráficos do resíduo, da probabilidade normal dos resíduos e pelo teste Shapiro Wilk. Com base nestas métricas, foi possível definir qual a melhor equação para estimar o diâmetro da copa em relação à variável independente (DAP). As equações logaritmizadas foram corrigidas pelo Índice de Meyer (WEBER, 2007), sendo realizado também o recálculo do erro padrão da estimativa para os modelos com transformação em *y*. Os cálculos das estatísticas foram obtidos através das equações 1, 2, 3 e 4, a seguir:

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \cdot \left(\frac{SQR}{SQT} \right) \quad (1)$$

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (2)$$

$$Resíduo = \frac{y_i - \hat{y}}{y_i} \quad (3)$$

$$IM = e^{0,5 (S_{yx})^2} \quad (4)$$

Nas equações de (1) a (4) p = número de coeficientes no modelo; n = número de observações; SQR = soma de quadrado de resíduos; SQT = soma de quadrado total; IM = Índice de Meyer; e = base dos logaritmos neperianos; \hat{y} = valor estimado de cada observação; \bar{y} = média aritmética real da variável dependente; y = valor real de cada observação.

3 Resultados

Foram avaliados 801 indivíduos, contabilizando 21 espécies. Dentre essas espécies, obteve-se um DC mínimo de 1,1 m e máximo de 14,4 m, seguido de um DAP mínimo de 4,5 cm e máximo de 41,7 cm, apresentando DC e DAP médios de 4,7 m e 13,6 cm, respectivamente.

A partir disso, foram ajustados nove modelos descritos na literatura para estimar o diâmetro de copa em função da variável independente DAP e suas transformações e um modelo proposto neste estudo tendo como variáveis independentes o DAP e altura da planta. Na Tabela 2 são apresentados os modelos ajustados com as variáveis dependentes e independentes, e seus respectivos coeficientes, junto das principais estatísticas para verificação da precisão e qualidade dos ajustes.

As estatísticas mostradas na Tabela 2 indicam que todos os modelos foram significativos por apresentarem valores de F superiores ao valor tabelado, para o nível de 0,01. Isso indica que os valores de DAP influenciam nos valores de DC. Apesar disso, apresentaram um baixo coeficiente de determinação e alto valor do erro padrão da estimativa.

O baixo valor dos coeficientes de determinação, que variam de 0,42 a 0,50, indica imprecisão da estimativa do diâmetro de copa, gerando um alto valor residual. Esse resultado ocorre devido à grande variabilidade do DC em função do DAP, principalmente pela diversidade de espécies e árvores com variadas dimensões.

Tabela 2- Equações ajustadas, com suas respectivas estatísticas de ajuste e precisão para a estimativa do diâmetro de copa

Id	β_0	β_1	β_2	β_3	R ² aj	Syx%	F	Meyer
1	1,2650	0,0009			0,42*	26,5	604,1	1,0383
2	1,2392	0,5181			0,47	25,1	732,8	
3	2,2910	0,1746			0,47	25,1	732,8	
4	0,1812	0,2477	0,5184		0,45*	25,1	668,5	1,0366
5	1,7876	-0,0021			0,50	25,0	375,9	
6	3,6166	0,0046			0,50	26,7	564,5	
7	0,4233	0,0160			0,42*	66,9	604,1	1,0071
8	1,4309	144,371 ⁰	- 40,017	0,0191	0,45*	25,1	222,4	1,0367
9	0,1812	0,2592			0,45*	25,1	668,5	1,0366
10	1,4691	0,1524	0,1709		0,50*	34,8	763,9	

*recálculo do coeficiente de determinação utilizando a soma de quadrados dos resíduos recalculados.

Os valores de Syx%, com exceção do modelo 7, tiveram uma variação entre 25,12% a 26,57%, indicando uma diferença muito pequena entre o resultado dos ajustes das equações. Em termos absolutos, verifica-se que todos os modelos apresentaram erro superior a um metro na estimativa do diâmetro de copa. As estatísticas de avaliação apontaram que os valores de R²aj e Syx% tiveram pouca variação. Ao analisar os gráficos de distribuição residual (Figura 1), observam-se vários padrões de ajustes entre os modelos testados, fatos que não são possíveis de visualizar analisando-se somente os valores de R²aj, Syx% e F. Dessa forma, nota-se que todos os modelos apresentam uma leve tendência a superestimar os valores de diâmetro de copa, principalmente para fustes maiores.

Para os nove modelos avaliados da literatura, a distribuição dos resíduos não foi normal, com valores do teste de Shapiro Wilk maiores do que 5%. Já para o modelo proposto neste estudo, tendo como variáveis independentes o DAP e a altura, todos os pressupostos de análise de regressão foram atendidos. A análise gráfica dos resíduos (Figura 2) e o teste de Shapiro Wilk mostrou que a distribuição dos resíduos é normal.

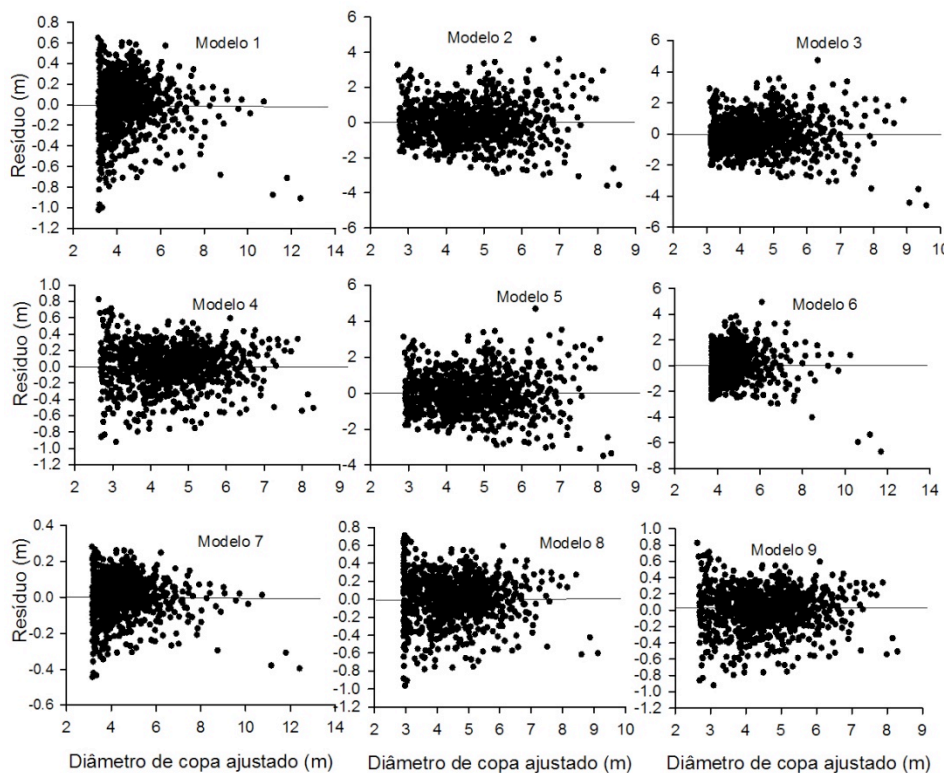


Figura 1- Distribuição gráfica dos resíduos em percentagem em função do diâmetro de copa para os modelos de 1 a 9.

A diferença de ajuste dos modelos 3 e 4 é muito pequena, porém ao analisar seus gráficos é possível perceber qual modelo apresenta melhor qualidade de ajuste. Os dois modelos utilizam as mesmas variáveis independentes. No entanto, o primeiro utiliza a variável independente na sua forma pura (DAP) e o segundo utiliza a variável independente transformada (lnDAP). O modelo 3 apresentou um maior valor de R^2_{aj} (0,47) porém mostrou-se inferior no que tange a distribuição residual, cujos valores estão mais distantes de zero. Já o modelo 4 parece apresentar uma distribuição da nuvem de pontos mais próximas a zero. Portanto, apesar de apresentar menor valor de R^2_{aj} (0,45), o modelo 4 é considerado melhor que o modelo 3 por apresentar valores residuais mais satisfatórios. Isso provavelmente ocorre devido a correção da discrepância logarítmica.

Dessa forma, os modelos logarítmicos, que obtiveram os mesmos valores, foram os que apresentaram melhores resultados quando analisados o R^2_{aj} (0,45), $Syx\%$ (25,1) e o gráfico de resíduos. Esses resultados estão de acordo com os observados nos trabalhos de Sanquetta *et al.* (2014), Orellana e Koehler (2008) e Weber (2007). Sanquetta *et al.* (2014) e Orellana e Koehler (2008) encontraram, para modelos logarítmicos, valores de

R^2_{aj} que variam de 0,5 a 0,6, enquanto Weber (2007) observou valores de $Syx\%$ que variam de 27 a 28%.

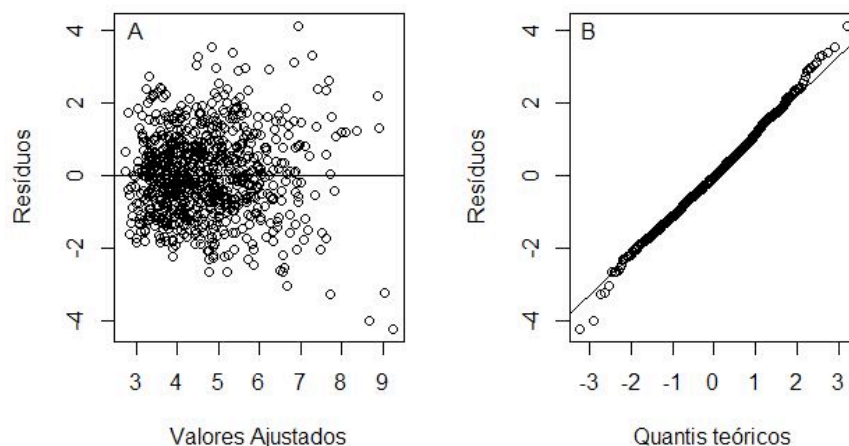


Figura 2 - Gráficos da (A) distribuição e da (B) probabilidade normal dos resíduos do modelo de estimativa do diâmetro de copa em função do DAP e da altura para todas as espécies encontradas na área de estudo.

O modelo 5, que foi utilizado por Sanquetta *et al.* (2014) para estimar o diâmetro de copa da *Acaciamearnsi*, apesar de ter maior valor de R^2_{aj} (0,5) e menor de $Syx\%$ (25%), apresentou tendência não linear, superestimando os valores de DC para diâmetros à altura do peito superiores a 36,19 cm (Figura 3). No entanto, no estudo realizado por Weber (2007) com *Mimosa scrabella*, foi obtida uma linha de ajuste linear e boa distribuição de resíduos, com a nuvem de pontos em sua maioria próxima a zero, quando foi utilizado esse mesmo modelo. A partir disso, pode-se afirmar que um determinado modelo pode ser adequado para certa espécie e inadequado para outras.

Foi observado ainda que a correlação linear simples (r) entre o DAP e o DC apresentou uma associação de 69,2%, indicando uma relação moderada positiva, já que se encontra no intervalo ($0,5 \leq r \leq 0,8$). Essa correlação pode ser observada graficamente ainda na Figura 3, onde todos os valores não aparecem bem alinhados. Com relação aos valores de altura de árvores, foi observada uma correlação de apenas 48,1% com o DC, um valor considerado baixo. Mesmo assim, o acréscimo desta variável explicativa no modelo proposto neste estudo resultou em melhoras significativas nas estimativas e na normalidade dos resíduos. Entretanto, poucos são os trabalhos que correlacionam esta variável dendrométrica com o diâmetro de copa.

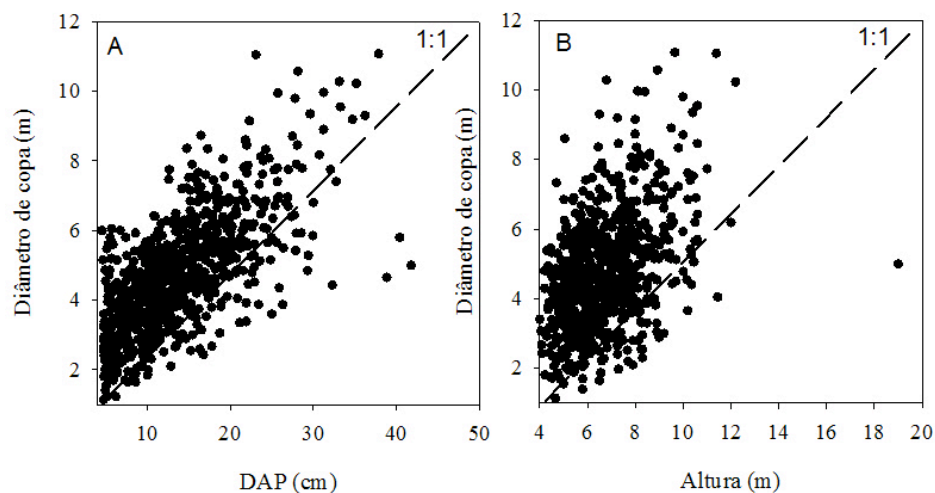


Figura 3 - Diagrama de dispersão dos dados de (A) diâmetro de copa e DAP e (B) diâmetro de copa e Altura das árvores na área da Votorantin Cimentos S.A, no município de Laranjeiras, SE.

A correlação feita por Weber (2007) nas regiões metropolitanas e sul de Curitiba, apresentou um valor alto ($r = 91,9\%$), indicando alta correlação entre o DAP e o diâmetro de copa de *Mimosascabrella*. Orellana e Koehler (2008) também verificaram uma alta correlação ($r = 81,3\%$) entre as mesmas variáveis, em um estudo realizado com *Ocotea odoriferano* município de Fazenda Rio Grande, PR. Já Tonini e Arco-Verde (2005) encontraram uma correlação mais baixa que os autores citados ($r = 73,8\%$) em um estudo feito com *Bertholletia excelsa*, *Carapa guianensis*, *Tabebuia avellanadae* e *Hymenaea courbaril* no município de Cantá, Boa Vista, resultado que se assemelha ao presente trabalho, pois o mesmo também apresentou menor valor de correlação utilizando 21 espécies diferentes. Tonini e Arco-Verde (2005) também indicaram que a *Bertholletia excelsa* apresentou copas cerca de 50 vezes maiores que o DAP, contra 14,7 da *Carapa guianensis*, 32,3 da *Tabebuia avellanadae* e 33,1 da *Hymenaea courbaril*.

Diante disso, foi selecionado o modelo que melhor apresentou resultados de ajuste (Tabela 3) para analisar a correlação linear e o ajuste das três espécies com maior frequência na área. A *Schinus terebinthifolius* (Aroeira) com 367 indivíduos (Espécie 1), esteve presente em 29 parcelas e apresentou R^2_{aj} de 0,41. A *Enterolobium contortisliquum* Vell. Morang. (Tamboril) com 53 indivíduos (Espécie 2) em 22 parcelas, obteve um valor de R^2_{aj} igual a 0,55. Já a *Cassia grandis* Lf. (Canafístula), com 131 indivíduos (Espécie 3), esteve presente nas 30 parcelas e apresentou um maior valor de R^2_{aj} (0,70). Mas ao analisar os gráficos de resíduos (Figura 4), observa-se que não houve mudança significativa nos padrões de ajuste quando ajustado o modelo por espécie, concluindo que o modelo continua apresentando uma leve tendência a superestimar os valores de diâmetro de copa. No entanto, para os respectivos modelos ajustados para cada espécie, o de Shapiro Wilk confirmou a normalidade dos resíduos.

Tabela 3- Espécies selecionadas e equações ajustadas

Espécies	Equações	R ² aj	Syx%	F
1	$DC=2,87+0,15DAP$	0,41	21,35	257,78
2	$DC=1,53+0,16DAP$	0,55	18,60	63,71
3	$DC=0,69+0,0057DAP^2+0,361H$	0,70	10,08	281,99

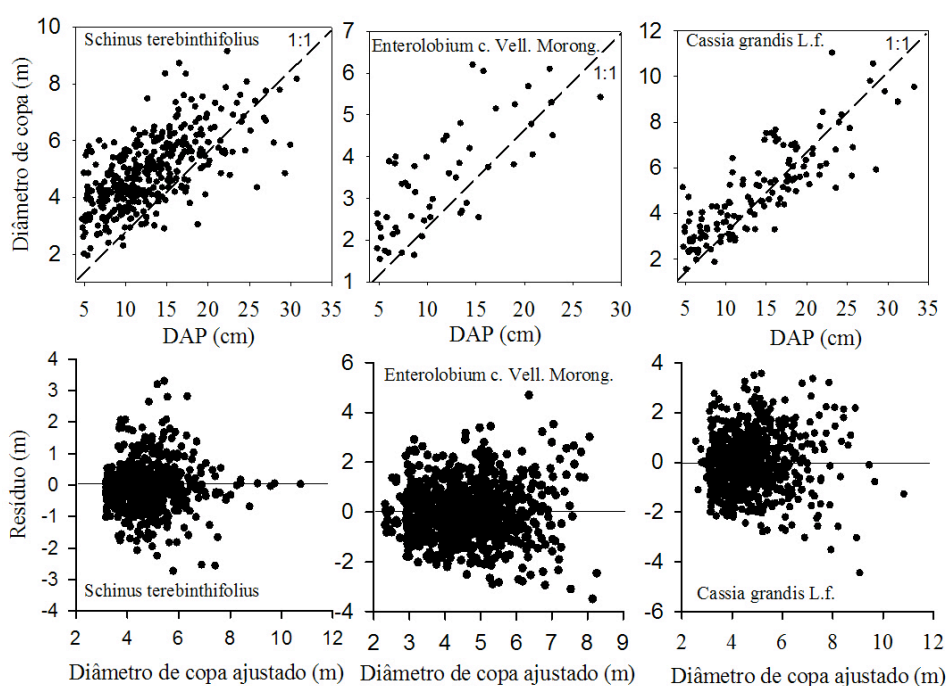


Figura 4- Diagrama de dispersão entre o diâmetro de copa x DAP e distribuição gráfica dos resíduos, em percentagem, em função do diâmetro de copa para as espécies *Schinus terebinthifolius*, *Cassia grandis* L.f. e *Enterolobium contortisliquum* Vell. Morang.

Pela análise da Tabela 3 nota-se que o modelo apresentou melhora nos resultados de ajuste, apresentando maiores valores de R²aj e menores de Syx%. Sendo que as espécies *Schinus terebinthifolius* e *Enterolobium contortisliquum* Vell. Morang. não apresentaram erro superior a 1 metro na estimativa do diâmetro de copa. E para as três espécies, os valores de F para este modelo continuaram superiores ao valor tabelado para o nível de 0,01, indicando que o mesmo é significativo, ou seja, que os valores de DAP influenciam nos valores de DC nas três espécies. Em relação à correlação linear simples (r) entre o DAP e o DC, a *Schinus terebinthifolius*, *Enterolobium contortisliquum* Vell. Morang. e *Cassia grandis* L.f. apresentaram uma associação de 64,3%, 74,5% e 83,3%

respectivamente (Figura 4), o que pode classificar as duas primeiras espécies em uma relação moderadamente positiva, e a última considerada uma relação forte positiva, por estar no intervalo ($0,8 \leq r \leq 1$).

Quando analisadas as três espécies juntas, obteve-se uma correlação de 70,9%. Tal resultado aproximou-se da correlação encontrada por Tonini e Arco-Verde (2005) ao fazer uma avaliação com quatro espécies, *Bertholletia excelsa*, *Carapa guianensis*, *Tabebuia avellanedae* e *Hymenae courbaril*, apresentando $r = 73,8\%$. Diante desses resultados, fica claro que quanto menos espécies forem utilizadas para a correlação e ajuste de modelos, melhores vão ser os resultados, pois cada espécie tem sua maneira de se desenvolver, mostrando-se umas mais vigorosas que as outras, e conseqüentemente isso vai inferir no crescimento do diâmetro e da copa das árvores.

Apesar da melhora no ajuste, é possível perceber no diagrama de dispersão das figuras 3 e 4 que existem variações inconstantes dos dados de diâmetro de copa à medida que o DAP aumenta. Isso continua ocorrendo porque as árvores de maior diâmetro são mais velhas e suas copas mais suscetíveis a danos, havendo competição por espaço entre elas. Apesar disso, a correlação diâmetro de copa (DC) e DAP ainda apresenta-se positiva, visto que existe um crescimento proporcional das copas à medida que o DAP aumenta.

Conclusões

A relação entre o diâmetro de copa e o DAP segue uma tendência linear, mesmo existindo leve inconstância devido a fatores externos. Isso demonstra uma relação moderada à forte positiva entre o crescimento em diâmetro do fuste e o desenvolvimento da copa para todas as espécies e para a *Cassia grandis* Lf., quando analisada isoladamente.

O modelo para todas as espécies que obteve melhor resultado foi proposto por este estudo (modelo 10) ao acrescentar a variável altura, onde o mesmo apresentou distribuição normal dos resíduos.

Os nove modelos encontrados na literatura não obtiveram bons resultados para esta área de estudo por se tratar de muitas espécies diferentes, apresentando tendências não lineares e superestimando os valores de DC para diâmetros à altura do peito, além de não existir distribuição normal dos resíduos.

As espécies *Schinus terebinthifolius*, *Enterolobium contortisliquum* Vell. Morang. e *Cassia grandis* Lf., quando analisadas individualmente, demonstraram melhora nos resultados de R^2_{aj} e $Sy_x\%$, destacando-se a *Cassia grandis* Lf., por representar todas as parcelas da área e apresentar valor de R^2_{aj} (0,70) e distribuição normal dos resíduos.

Por fim, conclui-se que para uma área como esta de regeneração e diversidade de espécies, o indicado seria um modelo com no mínimo duas variáveis para obter um modelo satisfatório.

Agradecimentos

Aos revisores e editor pelas importantes sugestões.

LEÃO, T. D. S.; MELLO, A. A.; ALMEIDA, A. Q.; MOURA, M. A. Fit of models for canopy diameter estimation in a mixed reforestation area at the Mata Atlântica. *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, v.35, n.3, p.523-536, 2017.

ABSTRACT: *The main objective of this study was to fit regression models to estimate canopy diameter from circumference at Breast height in an Atlantic Forest area located in Laranjeiras county, SE, Brazil. The study was carried out using 30 permanent plots of 600 m² (20m × 30m), systematically distributed, in a recovery area, belonging to the company Votorantim Cimentos SA. In each plot, the measurements were taken of the circumference at the breast height (CBH), for individuals with CBH > 15 cm and cup diameter. From the CAP values, the diameter at the breast height of each individual was estimated. Subsequently, regression models were fitted between the values of diameter at breast height and canopy diameter considering all the species found and for the three most abundant species. The models were evaluated by: adjusted coefficient of determination, standard error of the estimate, the F-value and the graphical analysis of residues. The general model with the best performance presented a coefficient of determination of 0.5 and a standard error of the estimate of 34.8%. When considering specific models by species *Cassia grandis* Lf., *Enterolobium contortisliquum* Vell. Morang. and *Schinus terebinthifolius* it was obtained coefficients of determination of 0.70, 0.55 and 0.41, respectively; and standard error of estimation ranging from 10% to 22%. The relationship between canopy diameter as a function of CBH follows a linear trend and can be estimated by diameter at breast height, which will imply as a thinning indicator and thus predict the maximum number of trees per unit area as they go growing. There is a significant improvement in the models when adjusted by species.*

KEYWORDS: *Modeling; canopy cover; recovery.*

Referências

BATISTA, B. P. A. *Dinâmica e predição da estrutura diamétrica de dois fragmentos de Floresta Atlântica no Nordeste do Brasil*. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

BONFIM, L. F. C.; COSTA, I. V. G.; BENVENUTI, S. M. P. *Projeto Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe*. Diagnóstico do Município de Laranjeiras. Aracaju: CPRM, 2002, p. 13.

CANSI, A. F. M. M. *Regeneração natural de espécies arbóreas em fragmentos de Mata Atlântica na APA da bacia do rio São João, RJ*. 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2007.

CHAVES, S. P. A. *Modelagem do crescimento e da produção de *Tectona grandis* Linf. até a idade de rotação*. 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

DURLO, A. M.; SUTILI, J. F.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.14, n.2, p. 79-89, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2014). *Notícias*. Disponível em: <http://www.inpe.br> (Acesso em: 12 dezembro 2014).

MELO, G. C. A.; MIRANDA, C. L. D.; DURIGAN, G. Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no médio Vale do Parapanema, SP, Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, v.31, n.2, p.321-328, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2014). *Mata Atlântica*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas> (Acessado em 10 novembro 2014).

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. *Pagamento por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: Lições aprendidas e desafios*. 42.ed. Brasília, 2011. p. 272.

MMA/SBF. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/ SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS. *Mata Atlântica: Patrimônio Nacional dos Brasileiros*. 2.ed. Brasília, 2010, p. 408.

NUTTO, L. Manejo do crescimento decamétrico de *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.11, n.2, p.9-25, 2001.

NUTTO, L; TONINI, H; BORSOI, A. G; MOSKOVICH, A. F; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. *Colombo*, n.42, p.123-138, 2001.

ORELLANA, E; KOEHLER, B. A. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell) Rohwer. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, Curitiba, v.6, n.2, p.229-237, 2008.

PADOIM, V; FINGER, G. A. C. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n.1, p.95-105, 2010.

PASCOA, V. J. K. *Modelagem e análise do crescimento de Eremanthus erythropappus (DC) Mackeish em povoamento plantado*. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

PINTO, P. L; BEDÊ, L; PAESE, A; FONSECA, M; PAGLIA, A; LAMAS. I. *Mata Atlântica Brasileira: Os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial*. Essências em Biologia da Conservação. Rio de Janeiro, cap. 4, 2006. p.28.

PINTO, P. L; HIROTA, M; CALMON, M; RODRIGUES, R. R; ROCHA, R. *Pacto pela restauração da Mata Atlântica: Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal*. A Mata Atlântica. São Paulo, 2009. p. 264.

SANQUETTA, R. C; BEHLING, G. A; FERNANDES, C. A; BECKERT, M. S; SIMON, A. A. Equações para Estimativa do Diâmetro de Copa para Acácia-negra. *Floresta e Ambiente*, p.14, 2014.

TONINI, H; ARCO-VERDE, F. M. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.40, n.7, p. 633-638, 2005.

WEBER, S. K. *Manejo da Bracatinga (Mimosa seabrella Benth.) baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais*. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

WINK. C; MONTEIRO, S. J; REINERT. J. D; LIBERALESSO, E. Parâmetros da copa e sua relação com o diâmetro das árvores de eucalipto em diferentes idades. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.40, n.93, p.057-067, 2012.

YOUNG, C. Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas. *Causas socioeconômicas do desmatamento na Mata Atlântica brasileira*. Belo Horizonte, MG, cap. 10, 2005. p. 118.

Recebido em 08.08.2016

Aprovado após revisão em 23.01.2017