

MODELAGEM DA ÁREA DE PROJEÇÃO DA COPA DE ÁRVORES URBANAS EM SÃO JOÃO EVANGELISTA-MG

Isadora Azevedo Perpétuo ¹; Letícia Caldeira Aguiar ²; Ivan da Costa Ilhéu Fontan ³; Bruno Oliveira Lafetá ⁴

¹ Isadora Azevedo Perpétuo, Bolsista IFMG, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista - MG; isadoraperpetuo@hotmail.com

² Letícia Caldeira Aguiar, Voluntário, Engenharia Florestal, IFMG, São João Evangelista - MG; leticiacaldeira23@gmail.com

³ Coorientador: Ivan da Costa Ilhéu Fontan, Campus São João Evangelista; ivan.fontan@ifmg.edu.br

⁴ Orientador: Bruno Oliveira Lafetá, Campus São João Evangelista; bruno.lafeta@ifmg.edu.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência da modelagem da área de projeção da copa de árvores contidas na arborização urbana do município de São João Evangelista-MG, empregando modelos de regressão não lineares. O inventário da arborização urbana consistiu na amostragem aleatória de árvores distribuídas em diferentes vias e praças públicas do município. Foram estabelecidas 7 classes de diâmetro a 1,30m de altura do solo (DAP, cm) com intervalos regulares de 10cm (aproximadamente, 31,4cm de circunferência – CAP). Mensuraram-se 84 indivíduos e todas as classes de tamanho foram contempladas com árvores. As árvores não exibiram sinais aparentes de poda, injúrias ou ataque de insetos. Testaram-se dois modelos regressão não linear (Logístico e Gompertz) para a estimativa da área de projeção de copa em função exclusivamente do DAP. A análise de regressão foi realizada através do método iterativo de Levenberg-Marquardt. As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio dos softwares Curve Expert e R. A precisão das equações foi similar, com poucos desvios, porém somente a equação logística apresentou todos coeficientes significativos ($p \leq 0,01$). Esta equação foi selecionada para as análises gráficas subsequentes. O comportamento sigmoidal da área de projeção de copa em função do DAP foi confirmado. Diante da informação da assíntota, a estimativa é que parte das árvores alcancem uma área de projeção de copa e torno de 182,01 m² (diâmetro de copa equivalente a 15,22 m). Esse resultado possui relevância social e ambiental, pois o sombreamento aumenta a vida útil do asfalto, reduz a erosão e promove conforto térmico para a instalação de áreas de lazer e convivência em centros urbanos. Conclui-se que a área de projeção da copa de árvores em centros urbanos pode ser estimada com precisão por modelos de regressão não linear. O modelo logístico é adequado para definição precisa da assíntota da relação do DAP com a área de projeção da copa.

INTRODUÇÃO:

O planejamento da arborização urbana deve considerar as peculiaridades inerentes ao ecossistema, como sua capacidade produtiva. Atualmente, não é difícil encontrar manuais que padronizam práticas silviculturais urbanas relacionadas ao dimensionamento de covas e local de plantio, desconsiderando a influência da qualidade de sítio. A análise do comportamento morfométrico da copa e fuste de árvores é fundamental para viabilizar melhorias de aproveitamento do espaço verde em cidades (SHODA et al., 2020).

A arborização é uma prática que requer um eficiente gerenciamento para se evitar prejuízos provenientes do crescimento de árvores, como danificações de calçadas, tubulações subterrâneas, edifícios e redes elétricas (HILBERT et al., 2020). A modelagem via regressão não linear empregando modelos sigmoidais surge como alternativa para subsidiar a tomada de decisões sobre o dimensionamento do espaço verde urbano.

Equações de crescimento e produção de árvores são indispensáveis para a compreensão dos seus serviços prestados à sociedade e ambiente. Enfatiza-se que modelos lineares polinomiais têm sido exaustivamente utilizados para o estabelecimento de relações interdimensionais da copa e fuste de árvores, fundamentando-se apenas em critérios estatísticos (TRINDADE et al., 2019; HILBERT et al., 2020). Todavia, o comportamento não linear de fenômenos biológicos é realidade em ecossistemas naturais e urbanos (CANETTI et al., 2017). A disponibilidade de dados morfométricos é um relevante ativo no manejo florestal urbano, que permite a identificação de locais para o plantio de árvores e desenvolvimento de procedimentos silviculturais. As informações geradas com a modelagem podem ser utilizadas a curto e médio prazo para promover a conscientização e adoção de práticas silviculturais apropriadas de arborização urbana.

Mediante exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência da modelagem da área de projeção da copa de árvores contidas na arborização urbana do município de São João Evangelista-MG, empregando modelos de regressão não lineares.

METODOLOGIA:

O trabalho foi conduzido no município de São João Evangelista-MG, tipo climático Cwa pela classificação do sistema internacional de Köppen (KÖPPEN, 1936). As médias anuais de temperatura e precipitação são de 20,2° C e 1.377 mm, respectivamente (INMET, 2021).

O inventário da arborização urbana consistiu na amostragem aleatória de árvores distribuídas em diferentes vias e praças públicas do município. Foram estabelecidas 7 classes de diâmetro a 1,30m de altura do solo (DAP, cm) com intervalos regulares de 10cm (aproximadamente, 31,4cm de circunferência – CAP). Mensuraram-se 84 indivíduos e todas as classes de tamanho foram contempladas com árvores. As árvores não exibiram sinais aparentes de poda, injúrias ou ataque de insetos.

A circunferência à 1,30 m de altura do solo (CAP, cm) foi mensurada de todos os fustes empregando fita métrica. O DAP foi calculado pela relação entre (CAP) e o valor de π (3,141592654...). O diâmetro equivalente foi calculado para as árvores com bifurcação no tronco. O diâmetro da copa (Dc, m) foi obtido por uma relação de média, com a medição de quatro raios nas direções paralela (//) e perpendicular (\perp) à orientação das vias públicas através da projeção vertical da copa. Calculou-se a área de projeção da Copa (APC, m²) utilizando a expressão: $APC = (\pi DC^2)/4$.

Foram testados dois modelos regressão não linear (sigmóides) para a estimativa da área de projeção de copa em função exclusivamente do DAP. A análise de regressão foi realizada através do método iterativo de Levenberg-Marquardt. Os modelos testados são rotineiramente ajustados no setor florestal para a modelagem de atributos biométricos, sendo assim definidos:

M1 – Logístico:

$$APC = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\gamma DAP}} + \varepsilon$$

M2 – Gompertz:

$$APC = \alpha e^{-e^{\beta - \gamma DAP}} + \varepsilon$$

Em que: APC = área de projeção da copa (m²); DAP = diâmetro a 1,30m de altura do solo (cm); α , β e γ = parâmetros do modelo; e = constante neperiana; e ε = erro aleatório.

A seleção do modelo de regressão para as estimativas da área de projeção da copa se basearam na consistência biológica, significância de parâmetros pelo teste *t*, Média dos Desvios Absolutos (MDA), Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM), critério de informação de Akaike (*Akaike Information Criterion*, AIC) e coeficiente de correlação de Pearson (*r*). Menores valores de MDA, RQEM e AIC implicam em melhor qualidade preditiva. As análises gráficas consistiram na inspeção estatística da dispersão dos resíduos padronizados e dos valores observados em relação àqueles estimados.

Os pontos que extrapolaram a tendência geral dos dados não foram eliminados das análises estatísticas a fim de se verificar a capacidade da modelagem em lidar com *outliers* ou ruídos. Para diagnóstico de efeito estatístico, empregou-se 1 e 5% de significância em todas as análises. Estas foram efetuadas com auxílio dos softwares Curve Expert 1.4 e R versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

A amostragem em diferentes classes de tamanho diamétrico permitiu a análise da área de projeção da copa em área de arborização urbana no município de São João Evangelista. As equações obtidas com as modelagens para a estimativa da área de projeção da copa se encontram na Tabela 1. As estatísticas de MDA, RQEM, *r* e AIC oscilaram pouco entre os ajustes realizados, porém somente a equação logística apresentou todos coeficientes significativos ($p \leq 0,01$). Esta equação foi selecionada para as análises gráficas subsequentes (Figura 1).

Tabela 1. Coeficientes e estatísticas de qualidade do ajuste dos modelos testados para a estimativa da área de projeção da copa de árvores do centro urbano do município de São João Evangelista - MG

Modelo	α	β	γ	MDA	RQEM	<i>r</i>	AIC
Logístico	182,0134**	23,3311**	0,0659**	12,0210	16,4528	0,8733**	717
Gompertz	324,2138 ^{ns}	1,4241**	0,0245**	11,8017	16,4778	0,8743**	716

^{ns}, *, ** não significativo, significativo a 5 e 1 % de probabilidade pelo teste *t*, respectivamente; MDA = média dos desvios absolutos; RQEM = raiz quadrada do erro médio; AIC = critério de informação de Akaike e *r* = coeficiente de correlação de Pearson.

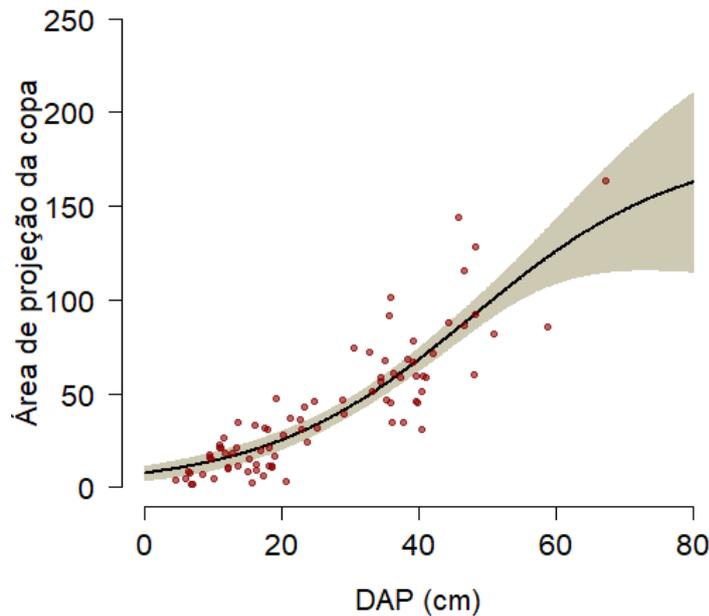


Figura 1. Curva da área de projeção da copa em função do diâmetro de árvores do centro urbano do município de São João Evangelista – MG. As margens de confiança foram construídas ao nível de confiança de 95% de probabilidade. Vermelho = valores observados da área de projeção da copa.

O comportamento sigmoideal da área de projeção de copa em função do DAP foi confirmado. Como esperado, a assíntota, representada pelo parâmetro “ α ”, foi positiva no ajuste realizado com o modelo logístico. Em consequência da ampla variabilidade genética da produção seminal de mudas e comum indeterminação da idade de árvores no paisagismo de municípios brasileiros (LAFETÁ et al., 2020), a assíntota da área de projeção da copa foi estimada com precisão pela regressão logística; a qualidade preditiva desse atributo também foi confirmada visualmente.

Diante da informação da assíntota, a estimativa é que parte das árvores alcancem uma área de projeção de copa e torno de 182,01 m² (diâmetro de copa equivalente a 15,22 m). Esse resultado possui relevância social e ambiental, pois o sombreamento aumenta a vida útil do asfalto, reduz a erosão e promove conforto térmico para a instalação de áreas de lazer e convivência em centros urbanos (LAFETÁ et al., 2020).

O sucesso da gestão da arborização urbana depende do detalhamento das informações disponíveis (SHODA et al., 2020) e equações que fornecem estimativas de área da copa, ou área sombreada, são úteis para a valoração dos serviços ambientais prestados por árvores para sociedade.

CONCLUSÕES:

A área de projeção da copa de árvores em centros urbanos pode ser estimada com precisão por modelos de regressão não linear.

O modelo logístico é adequado para definição precisa da assíntota da relação do DAP com a área de projeção da copa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- CANETTI, A.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; PELLICO NETTO, S. Life pattern of urban trees: a growth-modelling approach. **Urban Ecosystems**, v. 20, p. 1057-1068, 2017.
- HILBERT, D. R.; NORTH, E. A.; HAUER, R. J.; KOESER, A. K.; MCLEAN, D. C.; NORTHROP, R.; ANDREU, M.; PARBS, S. Predicting trunk flare diameter to prevent tree damage to infrastructure. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 49, p. 1-34, 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 02 maio. 2021.
- KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimata**. Berlin: Gerbrüder Bornträger, 1936. 44p.
- LAFETÁ, B.O.; SILVA, F. F.; SANTOS, M. A.; PIMENTA, I. A.; FONTAN, I. C. I.; FONSECA, N. R.; SARTORI, C. J. Modelagem morfométrica de *Licania tomentosa* (Benth.) por regressão logística e máquinas vetor de suporte. **Scientia Plena**, v. 16, n. 6, 060206, 2020.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2018.

SHODA, T.; IMANISHI, J.; SHIBATA, S. Growth characteristics and growth equations of the diameter at breast height using tree ring measurements of street trees in Kyoto City, Japan. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 49, p. 1-8, 2020.

TRINDADE, R. N. R.; LAFETÁ, B. O.; AGUIA, V. F.; SILVA, A. G.; FERRARO, A. C.; PENIDO, T. M. A.; VIEIRA, D. S. Morfometria da copa de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S. T. Blake em diferentes espaçamentos de plantio. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 83-91, 2019.