



EFEITO DA IDADE SOBRE OS COEFICIENTES DO POLINÔMIO DO QUINTO GRAU PARA AFILAMENTO DE *Pinus taeda* L.

Saulo Jorge Téó¹, Bruno Mariano da Silva¹

¹ Universidade do Oeste de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil. E-mail: sauloteo@yahoo.com.br; brunomariano022@gmail.com

Autor correspondente: Saulo Jorge Téó. E-mail: sauloteo@yahoo.com.br.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é avaliar o grau de associação e a relação entre a idade e os coeficientes do polinômio do quinto grau, ajustado para representar o afilamento de troncos de *Pinus taeda* L., na região Meio Oeste do estado de Santa Catarina. Os dados são provenientes de medições de diâmetro ao longo do tronco de 631 árvores de povoamentos florestais com idades variando de 4 a 31 anos. Primeiramente, foi feito o ajuste do polinômio do quinto grau para representar o afilamento dos troncos de *Pinus taeda* por idade. Após, foram feitos diagramas de dispersão, calculado o coeficiente de correlação e análise de regressão, considerando a idade como variável explicativa e os coeficientes do polinômio do quinto grau como variáveis resposta. O coeficiente b_0 do polinômio do quinto grau apresentou a maior intensidade de correlação (-0,71) e relação exponencial negativa com a idade, seguido do coeficiente b_2 , com coeficiente de correlação de +0,56 e relação linear com a idade. Os coeficientes b_0 e b_2 do polinômio do quinto grau, assim como diferentes tipos de relação entre a idade e os coeficientes, merecem atenção dos estudos para desenvolver uma função de afilamento capaz de representar troncos de diferentes formas.

Palavras-chave: Análise de regressão; forma; função de afilamento

EFFECT OF AGE ON THE FIFTH-DEGREE POLYNOMIAL COEFFICIENTS FOR TAPER OF *Pinus taeda* L.

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the degree of association and the relationship between age and the coefficients of the fifth-degree polynomial, fitted to represent the taper of *Pinus taeda* L. stems, in the Midwest region of the state of Santa Catarina, Brazil. The data came from diameter measurements along the stem of 631 trees from forest stands with ages ranging from 4 to 31 years. First, the fifth-degree polynomial was fitted to represent the tapering of *Pinus taeda* stems by age. Thereupon, scatter diagrams were made, the correlation coefficients were calculated, and regression analysis was performed, considering age as the predictor variable and fifth-degree polynomial coefficients as response variables. The coefficient b_0 of the fifth-degree polynomial showed the highest correlation intensity (-0.71) and negative exponential relationship with age, followed by the coefficient b_2 , with a correlation coefficient of +0.56 and a linear relationship with age. The coefficients b_0 and b_2 of the fifth-degree polynomial, as well as different types of relationship between age and coefficients, deserve attention from studies to develop a taper function capable of representing stems of different forms.

Key words: Regression analysis; form; taper function

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

Além da espécie, a forma dos fustes das árvores varia conforme uma série de fatores, como idade, sítio, posição sociológica, densidade do povoamento, intervenções silviculturais como desbaste e poda, e até estresses mecânicos, como os causados pelo efeito do vento sobre a árvore (Ahrens & Holbert, 1981). Dentre estes fatores, a idade é um dos que mais influencia a forma dos troncos das árvores, sendo, portanto, comum que as funções de afilamento sejam ajustadas para conjuntos de dados de árvores restritos a uma classe de idade, visando o melhor desempenho estatístico das equações (Téo *et al.*, 2013; Figueiredo Filho *et al.*, 2014; Figueiredo Filho *et al.*, 2015; Kohler *et al.*, 2016; Terra *et al.*, 2018). Entretanto, como é comum a necessidade de ajuste de funções de afilamento para povoamentos florestais em todas as fases de desenvolvimento, para estimativa de volume de maneira em estoque, este procedimento gera tantas equações quantas forem as classes de idade em que os dados forem estratificados.

Para evitar esse problema e desenvolver uma equação de afilamento de maior aplicabilidade, Téó *et al.* (2018) desenvolveram funções de afilamento, cujos coeficientes foram expressos como função linear da idade das árvores. As funções de afilamento desenvolvidas por Téó *et al.* (2018) não mostraram melhoras expressivas de precisão e exatidão das estimativas de diâmetros, quando comparadas às funções de afilamento em suas formulações simples.

Téó & Esteves (2022) atribuíram os resultados encontrados por Téó *et al.* (2018) ao fato de que somente um dos parâmetros foi expresso como função linear da idade de cada vez e encontraram resultados muito mais promissores quando ajustaram o polinômio do quinto grau com dois coeficientes (b_1 e b_5), como a função linear da idade. Todavia, é imprescindível estudar a relação dos diferentes coeficientes do polinômio do quinto grau com a idade das árvores, antes de formular uma função de afilamento dessa maneira.

Desta forma, o objetivo desta pesquisa é estudar o grau de associação linear e a relação entre a idade e os coeficientes do polinômio do quinto grau, ajustado para representar o afilamento de troncos de *Pinus taeda* L., visando contribuir para o desenvolvimento de uma função de afilamento capaz de representar troncos de diferentes formas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados para realização desta pesquisa foram coletados, em povoamentos de *Pinus taeda* localizados nos municípios de Caçador, Calmon, Lebon Régis, Macieira, Rio das Antas, Santa Cecília e Timbó Grande, todos na região Meio Oeste do estado de Santa Catarina.

Segundo a classificação de Köppen, a região de estudo possui ocorrência de clima tipo Cfb, isto é, da zona subtropical húmida, clima oceânico, sem estação seca e com verões temperados. A temperatura média do mês mais quente é 19,7°C e do mês mais frio 11,5°C, a precipitação anual é de 1.736 mm (Alvares *et al.*, 2013). A vegetação original da região de estudo é a Floresta Ombrófila Mista, principalmente em sua formação Floresta Ombrófila Mista Montana.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Os dados são provenientes de 631 árvores de *Pinus taeda*, com idades variando de 4 a 31 anos, de diversos povoamentos distribuídos na área de estudo. Deste total, 519 árvores foram derrubadas para a realização do procedimento de cubagem e 112 árvores tiveram os seus diâmetros medidos ao longo do fuste, utilizando de maneira combinada o Criterion RD 1000 e o TruPulse 200B. Foram tomadas as medições do diâmetro com casca a 0,5%, 1%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 95% da altura total da árvore. Para as árvores cubadas em pé, os diâmetros com casca foram tomados nas mesmas posições relativas à altura total da árvore, até, no mínimo, 70% e foi considerada a altura de toco média de 0,1 m.

A função de afilamento testada foi o polinômio do quinto grau (Expressão 1), a qual foi ajustada por classe de idade, por meio do procedimento PROC REG do aplicativo computacional SAS® *OnDemand for Academics*.

$$\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H}\right)^5 + \varepsilon_i \quad (1)$$

Em que: D = diâmetro 1,30m do solo com casca (cm); H = altura total (m); d_i = diâmetro na altura h_i do fuste da árvore, com casca (cm); h_i = altura na posição i do fuste da árvore (m); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = parâmetros a serem estimados.

Após o ajuste do polinômio do quinto grau, foi feita análise do grau de associação da idade (ano) com cada coeficiente, por meio de diagramas de dispersão e do cálculo do coeficiente de correlação simples. Por fim, foi realizada a análise de regressão considerando a idade como variável explicativa e os coeficientes do polinômio do quinto grau como variáveis resposta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas os coeficientes b_0 e b_2 do polinômio do quinto grau, ajustado como função de afilamento para árvores de *Pinus taeda*, apresentaram correlação linear significativa com a idade. A intensidade de associação entre o coeficiente b_0 e a idade pode ser classificada como forte, enquanto, entre o coeficiente b_2 e a idade, pode ser classificada como regular.

Tabela 1. Correlação simples entre a idade e os coeficientes do polinômio do quinto grau, ajustado como função de afilamento para *Pinus taeda* L., na região Meio Oeste do estado de Santa Catarina

Coeficiente	I (ano)
b_0	-0,7070**
b_1	-0,3654 ^{ns}
b_2	0,5556*
b_3	-0,4195 ^{ns}
b_4	0,2484 ^{ns}
b_5	-0,1443 ^{ns}

Em que: I = idade (ano); * significativo ($\alpha = 0,05$); ** altamente significativo ($\alpha = 0,01$); ^{ns} não significativo

O coeficiente b_0 do polinômio do quinto grau tende a diminuir com o aumento da idade, conforme uma relação exponencial negativa, já o coeficiente b_2 apresentou tendência de aumento com a idade das árvores, obedecendo uma relação linear (Figura 1). Conforme os valores do coeficiente de determinação (R^2), a equação para representar a relação entre o coeficiente b_0 e a idade das árvores apresentou melhor ajuste, quando comparada à equação para representar a relação entre o coeficiente b_2 e a idade (Figura 1).

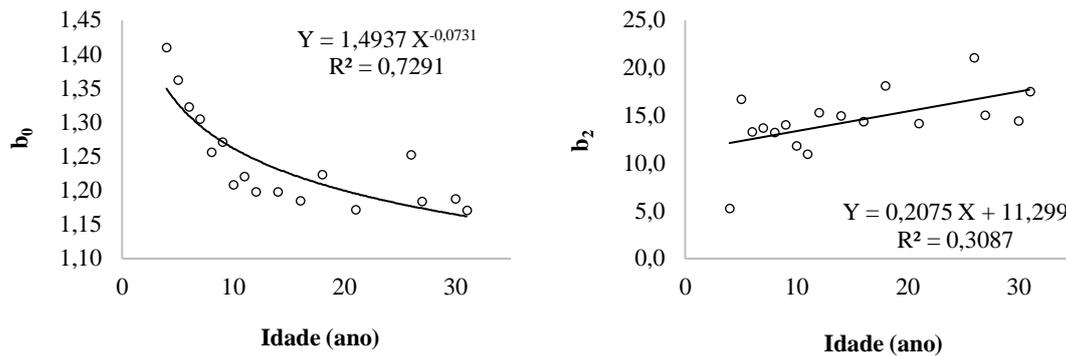


Figura 1. Análise de regressão para os coeficientes b_0 e b_2 do polinômio do quinto grau, ajustado como função de afilamento para *Pinus taeda* L., na região Meio Oeste do estado de Santa Catarina

Embora a correlação simples entre a idade e o coeficiente b_2 do polinômio do quinto grau tenha sido significativa, a equação de regressão linear não apresentou bom desempenho (Figura 1). Para os demais coeficientes do polinômio do quinto grau (b_1 , b_3 , b_4 e b_5), os diagramas de dispersão e a análise de regressão não apresentaram indícios claros de relação entre os coeficientes e a idade das árvores.

O perfil do tronco das árvores, representada pelo polinômio do quinto grau ajustado como função de afilamento, tende a modificar a forma ao longo de todo o tronco da árvore (Téo *et al.*, 2013; Figueiredo Filho *et al.*, 2015; Kohler *et al.*, 2016), não somente na porção mais basal do tronco, onde atuam os coeficientes b_0 e b_2 do polinômio do quinto grau, que apresentaram relação com a idade das árvores. Assim, a mudança na forma do perfil do tronco das árvores pode se dar pela interação entre os diferentes coeficientes e não somente pela mudança no valor dos coeficientes isoladamente.

Desta forma, maior atenção deve ser dada aos coeficientes b_0 e b_2 do polinômio do quinto grau, na construção de uma função de afilamento capaz de representar troncos de diferentes formas. Porém, sem deixar de considerar as mudanças causadas pela idade, ou outra variável que influencie a forma das árvores, sobre os demais coeficientes do polinômio do quinto grau, principalmente b_4 e b_5 , que devem atuar no fechamento do perfil do tronco.

CONCLUSÃO

Os coeficientes b_0 e b_2 do polinômio do quinto grau, ajustado como função de afilamento para *Pinus taeda*, foram os mais influenciados pela idade das árvores e merecem maior atenção para a formulação de uma função de afilamento capaz de representar troncos de diferentes formas.

O desenvolvimento de uma função de afilamento, baseada no polinômio do quinto grau, que seja capaz de representar troncos de diferentes formas, deve considerar diferentes tipos de relação entre a idade e os coeficientes do polinômio, não somente a função linear.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahrens, S.; Holbert, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.3, p.37-68, 1981. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/5005/1/sahrens.pdf>. Acesso em: 19 Mar. 2023.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Figueiredo Filho, A.; Kohler, S. V.; Felde, J. L.; Dias, A. N. Dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *Araucaria angustifolia*. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 595-603, 2014. <https://doi.org/10.1590/01047760201420041386>.
- Figueiredo Filho, A.; Retslaff, F. A. S.; Kohler, S. V.; Becker, M.; Brandes, D. Efeito da idade no afilamento e sortimento em povoamentos de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 50-59, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.080114>.
- Kohler, S. V.; Koehler, H. S.; Figueiredo Filho, A.; Arce, J. E.; Machado, S. A. Evolution of tree stem taper in *Pinus taeda* stands. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1185-1191, 2016. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140021>.
- Téo, S. J.; Esteves, J. H. Efeito da idade sobre o polinômio do quinto grau para afilamento de *Pinus taeda* L. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 7, n. 1, p. 66-73, 2022. <https://doi.org/10.5380/biofix.v7i1.82184>.
- Téo, S. J.; Machado, S. A.; Figueiredo Filho, A.; Tomé, M. Stem taper equation with extensive applicability to several age classes of *Pinus taeda* L. **Floresta**, v. 48, n. 4, p. 471-482, 2018. <https://doi.org/10.5380/uf.v48i4.50996>.
- Téo, S. J.; Marcon, A.; Ehlers, T.; Bianchi, J. C.; Peloso, A.; Nava, P. R.; Costa, R. H. da. Modelos de afilamento para *Pinus elliottii* em diferentes idades, na região de Caçador, SC. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 439-452, 2013. <https://doi.org/10.5380/uf.v43i3.30320>.
- Terra, D. L. C. V.; Andrade, V. C. L. de; Freitas, B. C. Identidade de modelos volumétricos e de afilamento para *Corymbia citriodora*. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 1, p. 269-274, 2018. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/5629>. Acesso em: 29 Mar. 2023.