

Forma do fuste de eucalipto em diferentes arranjos de plantio e espaçamentos

Clebson Lima Cerqueira^{1*} Rômulo Môra¹ Helio Tonini²

¹ Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Av. Fernando Corrêa da Costa, Boa Esperança, 2367, Cuiabá-MT, Brasil, CEP: 78060-900.

² EMBRAPA Agrossilvipastoril, Rodovia MT 222, Zona Rural, 343, Sinop-MT, CEP: 78550-970.

*Author for correspondence: clebsonlima10@hotmail.com

Received: 18 May 2017 / Accepted: 24 July 2017 / Published: 30 September 2017

Resumo

Neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito do espaçamento e arranjo de plantio na forma do fuste de *Eucalyptus*. Os dados foram obtidos em um sistema de integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF), numa área experimental implantado pela empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, estado do Mato Grosso. Para este estudo utilizou-se quatro tratamentos: Presença de árvores periféricas na pastagem (T1), área de pastagem totalmente arborizada (T2), Pecuária-floresta (T3) e plantio homogêneo (T4). Os dados foram obtidos por meio da cubagem rigorosa das árvores em cada tratamento, perfazendo um total de 186 árvores aos 51 meses de idade. Para estudar a forma do fuste utilizou-se o modelo de afilamento polinomial proposto por Schöepfer (1966), tendo seu ajuste nos diferentes tratamentos realizado a partir do método dos mínimos quadrados ordinários e sua acurácia avaliada com base em indicadores estatísticos e análise gráfica dos resíduos. Para avaliar se há influência dos tratamentos na forma do fuste das árvores adotou-se o teste de identidade de modelos. Com base nas estatísticas de ajuste e análise gráfica dos resíduos o modelo apresentou-se adequado e pode ser empregado para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores de *Eucalyptus* em sistema de ILPF. Os resultados do teste de identidade de modelos indicaram que a forma do fuste altera-se de forma significativa entre os tratamentos e uma única equação não deverá ser ajustada para prever o afilamento para dados globais que contemplem diferentes densidades em sistema ILPF.

Palavras-chave: Afilamento, Eucalipto, Sistemas agroflorestais

Abstract

This work aimed to evaluate the effect of planting spacing and arrangement on the *Eucalyptus* stem shape. The data were obtained in the integration-crop-livestock-forest system (ICLF), in an experimental area implanted by the Brazilian Agricultural Research Company (EMBRAPA) crop livestock and forestry center, located in the municipality of Sinop, state of Mato Grosso, Brazil. For this study, four treatments were used: Presence of peripheral trees in pasture (T1), fully forested pasture area (T2), livestock-forest (T3) and homogeneous planting (T4). The data were obtained by the trees rigorous scaling in each treatment, totalizing 186 trees at 51 months of age. In order to study the stem shape, were used the polynomial model proposed by Schöepfer (1966), its fitting in the different treatments was performed by using the ordinary least squares method and its accuracy were evaluated based on statistical indicators and graphical analysis of the residues. To evaluate if there was influence of the treatments in the stem shape, the model identity test was adopted. Based on the goodness-of-fit statistics and graphical analysis of the residues, the model was adequate and can be used to estimate the diameters along the stem of the *Eucalyptus* trees in the ICLF system. The results of the model identity test indicate that the stem shape changes significantly

between treatments and a single equation should not be adjusted to predict the tapering for global data that contemplate different densities in the ICLF system.

Key words: Taper, Eucalyptus, Agroforestry systems

Introdução

No contexto do manejo florestal constantemente os gestores florestais e biometristas buscam utilizar técnicas de modelagem para aumento e otimização dos processos produtivos dos povoamentos florestais. Dentre várias técnicas utilizadas no Brasil e no mundo tem se as funções de afilamento, que podem ser utilizadas para fornecer informações exatas e oportunas sobre a produção volumétrica e os sortimentos de madeira, possibilitando o planejamento e gestão dos povoamentos.

A modelagem da forma do fuste em povoamentos estabelecidos em monocultivo e arranjos espaciais convencionais é um assunto bastante difundido no setor florestal brasileiro, com diversos estudos desenvolvidos e propostos para representar o perfil do fuste para espécies do gênero *Eucalyptus*, dentre outros pode-se citar (Mendonça et al. 2007; Miguel et al. 2011; Môra et al. 2014; Carvalho et al. 2014; Ribeiro e Andrade 2016; Souza et al. 2016). No entanto, pesquisas sobre a forma do fuste de *Eucalyptus* estabelecido em sistemas agroflorestais ainda são escassos, destacando-se os trabalhos de Müller et al. 2014 e Silva et al. 2016. Porém esses trabalhos não avaliam o efeito do espaçamento e arranjo de plantio na forma do fuste das árvores.

O afilamento do fuste é definido pela taxa de decréscimo do diâmetro (d), em relação ao diâmetro à altura do peito (d_{ap}) e seu estudo é conduzido por meio de modelos estatísticos não segmentados, segmentados e de forma variável. A forma das árvores pode variar de acordo com o material genético, idade, espaçamento, arranjo espacial, regime de corte, desbaste e capacidade produtiva do local (Husch et al. 2003; Campos e Leite 2013). Segundo Môra et al. (2014), no Brasil os estudos de forma do tronco estão baseados em funções que consideram a relação d/d_{ap} ou $(d/d_{ap})^2$ para estimar o diâmetro com uma certa acuracidade em qualquer altura do fuste.

Diversos modelos estatísticos têm sido propostos e empregados para modelagem do fuste, contemplando as variações de forma de acordo com a espécie florestal (Campos e Leite 2013). Esses modelos podem ser empregados para estimar três características básicas, tais como o diâmetro (d) em uma determinada altura (h), para estimar a altura (h) em que ocorre um determinado diâmetro (d) e o volume (v) entre duas alturas quaisquer (h_1 e h_2), além de permitir modelar a forma do fuste da árvore ao longo de seu ciclo (Kozak et al. 1969).

Dada a importância dos estudos de modelagem do fuste em sistemas agroflorestais, objetivou-se avaliar o efeito do espaçamento e arranjo de plantio na forma do fuste de árvores de eucalipto.

Materiais e Métodos

Caracterização da área de estudo

Os dados para realização do presente estudo foram obtidos em um sistema de integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF), numa área experimental implantado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop, na região norte de Mato Grosso. O ponto central da área experimental encontra-se nas coordenadas 11°50'53" S e 55°38'57" W. A região possui clima equatorial, com três meses de seca e precipitação anual de 2.000 a 2.500 mm, com temperatura média anual de 24 °C, com máximas em torno dos 40 °C e mínimas próximas de 20 °C. A altitude é de 380 m, com relevo plano e predomínio do latossolo vermelho amarelo argiloso (Sema-MT, 2014).

Os experimentos foram implantados em fevereiro (ILPF com gado leiteiro denominado ILPF leite) e dezembro de 2011 (ILPF com boi para corte, denominado ILPF corte), em uma área experimental de 40 ha e 78 ha respectivamente, implantados em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Para este estudo utilizou-se quatro tratamentos: Presença de árvores periféricas na pastagem (T1), área de pastagem totalmente arborizada (T2), Pecuária-floresta (T3) e plantio homogêneo (T4). No tratamento T1, adotou-se o arranjo em renques duplos, no T2 arranjo de plantio das árvores em faixas triplas. Nestes tratamentos, o eucalipto foi consorciado com pastagem de capim-piatã (*Brachiaria brizantha* cv. Piatã) em integração com milho para silagem e criação de gado leiteiro girolanda em rotações bi anuais concomitantemente ao plantio das árvores. No tratamento T3 foi adotado o plantio das árvores em renques triplos consorciado com capim-piatã (*Brachiaria brizantha* cv. Piatã) e criação de boi nelore para corte, o plantio homogêneo T4 foi estabelecido no espaçamento 3,5 x 3 m, cujos tratamentos foram estabelecidos em diferentes arranjos espacial conforme apresentado na (Tabela 1).

No preparo do solo para o plantio do eucalipto foi realizada a subsolagem, o sulcamento e uma adubação de 350 kg ha⁻¹ de superfosfato simples. Foram também realizadas três adubações de cobertura, um e dois meses após o plantio das árvores com NK, 20-20 (100 gramas por planta) e um ano após o plantio com 400 kg ha⁻¹ de NPK 20-05-20. Até o momento da coleta dos dados havia sido realizada uma desrama aos 36 meses até uma altura de dois metros.

O componente florestal utilizado foi o clone de híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e a orientação de plantio das árvores nas linhas foi no sentido leste oeste, ambos plantados em sulcos de 30 cm de profundidade.

Base de dados

Os dados (Tabela 1) para realização deste trabalho foram obtidos por meio da cubagem rigorosa de 186 árvores aos 51 meses de idade distribuídas entre os tratamentos estudados. As árvores cubadas foram selecionadas com base na distribuição diamétrica proveniente dos dados de inventário florestal. As variáveis mensuradas foram o diâmetro com casca a 1,30 m de altura (dap) com auxílio de Suta e altura total das árvores com o hipsômetro digital Haglôf. Em cada árvore abatida foram medidas além do (dap) e da altura total (ht), os diâmetros com casca nas seguintes posições: 0,10; 0,70; 1,30 e a partir deste ponto em intervalos de 1,0 em 1,0 m, até a posição onde $d = 1,0$ cm, aproximadamente. O método de cubagem utilizado foi o proposto por Smalian, conforme Husch et al. (2003).

Tabela 1. Distribuição de frequência das árvores cubadas nos diferentes tratamentos

| Tratamentos | Arranjo espacial (m) | N/ha ⁻¹ | N |
|-------------|----------------------|--------------------|-----|
| T1 | 3x2x50 | 189 | 21 |
| T2 | 3x2x15 | 714 | 56 |
| T3 | 3,5x3x30 | 270 | 54 |
| T4 | 3,5x3 | 952 | 55 |
| Total | - | | 186 |

Estudo da forma do fuste

Para estudar a forma do fuste utilizou-se o modelo de afilamento polinomial proposto por Schöepfer (1966) (Equação. 1) com a finalidade de obter estimativas do diâmetro ao longo do fuste das árvores nos diferentes tratamentos.

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

Em que: d_i = diâmetro com casca (cm) na altura h_i (m); DAP= diâmetro a 1,3 m do solo (cm); h = altura total (m); h_i = altura (m) onde se encontra o diâmetro d_i ; β_i = parâmetros a serem estimados; ε = Erro aleatório

Adotou-se o ajuste do polinômio do quinto grau por ser um modelo não segmentado amplamente utilizado pelos profissionais das ciências florestais (Kohler et al. 2013; Vendruscolo et al. 2016; Souza et al. 2016; Costa et al. 2016). Sendo frequentemente utilizado em inventários florestais quando o objetivo é quantificar multiprodutos e também avaliar a forma do tronco em diferentes idades e espaçamentos. Isso se deve ao fato da facilidade de ajuste e da acurácia que em geral esse modelo proporciona (Figueiredo Filho et al. 2015).

O ajuste do modelo nos diferentes tratamentos foi realizado a partir do método dos mínimos quadrados ordinários e a precisão e acurácia foi avaliada com base na significância dos coeficientes de regressão (β) pelo teste de t de Student a 5% de significância, coeficiente de determinação (R^2), erro padrão médio em percentagem (S_{yx} %), e análise gráfica dos resíduos, calculados pelas seguintes equações 2, 3 e 4 respectivamente.

$$R^2(\%) = \frac{\sum(\hat{d}-\bar{d})^2}{\sum(d-\bar{d})^2} 100 \quad (2)$$

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(d-\hat{d})^2}{n-p}} \therefore S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{d}} * 100 \quad (3)$$

$$E_{\%} = \left(\frac{d-\hat{d}}{\bar{d}}\right) * 100 \quad (4)$$

Em que: d = diâmetro observado; \hat{d} = diâmetro estimado; \bar{d} = média aritmética dos diâmetros; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo, excetuando a constante.

Teste de identidade de modelos

Após o ajuste e avaliação do modelo para os diferentes tratamentos procedeu-se a comparação das equações ajustadas por meio do teste de identidade de modelos proposto por Graybill (2000). O referido teste baseia-se na comparação entre a soma de quadrado dos resíduos em cada tratamento (modelo completo-MC) e a soma de quadrado da diferença do modelo ajustado para os dados agrupados contendo todos os tratamentos (modelo reduzido-MR). Assim, quando o valor da estatística F for maior ou igual ao seu valor tabelar, indica significância a 95% de confiança e rejeita-se a hipótese H_0 , ou seja, uma única equação ajustada

não pode expressar o afilamento para os dados agrupados (Regazzi e Silva 2010; Campos e Leite 2013).

Todos os procedimentos de ajuste e análises estatística foram realizadas no ambiente R (R Core Team 2015).

Resultados e Discussão

Os parâmetros estimados e as estatísticas de precisão calculadas a partir dos modelos ajustados para cada tratamento estão na Tabela 2. O teste de significância dos coeficientes das equações ajustadas apresentou resultados significativos em todos os tratamentos estudados pelo teste de t, indicando que as variáveis independentes associadas aos parâmetros significativos podem explicar a variabilidade do afilamento.

Tabela 2. Coeficientes e estatísticas do polinômio do quinto grau para os diferentes tratamentos

| Trat. | Coeficientes | | | | | Estatísticas | | |
|-------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 | β_4 | β_5 | $R^2(\%)$ | $S_{yx}(\%)$ |
| T1 | 1,1908 | -2,8854 | 10,330 | - | 23,309 | - | 94,2 | 11,51 |
| T2 | 1,211 | -3,296 | 11,562 | 23,125 | - | 8,768 | 95,5 | 9,37 |
| T3 | 1,208 | -3,605 | 13,193 | 21,730 | - | 5,363 | 98,3 | 6,82 |
| T4 | 1,155 | -2,634 | 8,845 | - | 26,304 | - | 98,5 | 5,571 |
| | | | | 18,323 | 17,024 | 6,069 | | |

As equações ajustadas para os diferentes tratamentos apresentaram coeficiente de determinação $R^2(\%)$ variando de 94 a 98,5 e erro padrão médio em percentagem $S_{yx}(\%)$ variando entre 5,5 a 11,5. Esses resultados são considerados satisfatórios para estimativa do diâmetro ao longo do fuste, com $S_{yx}(\%)$ superior a 94% e $R^2(\%)$ inferiores a 10% na maioria dos tratamentos. O ajuste mais acurado foi observado para o monocultivo (T4) e piores resultados para o (T1). Apesar do teste de significância dos coeficientes e estatísticas de precisão fornecerem importantes subsídios para avaliação da acurácia dos modelos, não garantem isoladamente inferir sobre o desempenho do modelo, uma vez que tratam apenas das médias das variações das estimativas totais, subsidiando apenas como um indicativo da qualidade do ajuste (Souza et al. 2016). Desta forma, pode ser visualizado a distribuição dos resíduos (Figura 1).

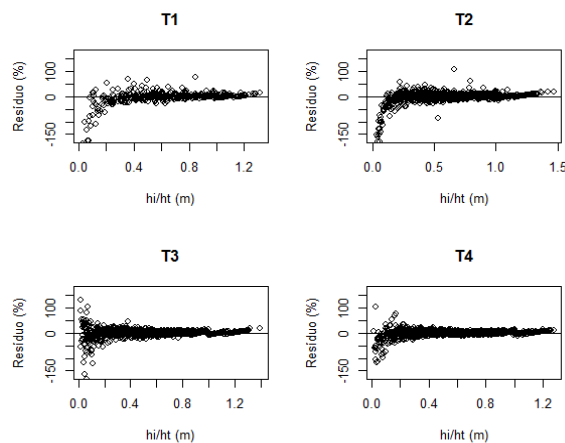


Figura 1. Distribuição gráfica dos resíduos para os tratamentos avaliados

A acurácia nos ajustes do modelo é confirmada pela análise gráfica dos resíduos percentuais. O qual permite avaliar o comportamento dos erros ao longo dos fustes. Assim fica evidenciado que os resíduos estão distribuídos uniformemente, o que indica boa precisão entre os valores

observados e estimados. Entretanto, em todos os tratamentos houve maior dispersão dos resíduos na parte mais próxima da base dos fustes, com maior dispersão e tendências em superestimar os (\hat{d}) nos tratamentos (T1 e T2). De acordo com Môra et al. (2014) e Souza et al. (2016) essa concentração dos maiores erros na porção basal da árvore é ocasionada devido uma variação brusca do diâmetro nesse ponto, resultando em estimativas menos precisas.

Na Figura 2, observa-se o comportamento da curva média estimada pelo modelo polinomial em relação aos dados observados de diâmetro ao longo do fuste nos diferentes tratamentos. Verificou-se nos tratamentos T1 e T2 pontos que não foram representados, e uma melhor representação da curva média nos tratamentos T3 e T4, confirmando a superioridade dos ajustes nesses tratamentos pelas estatísticas e análise gráfica de resíduos.

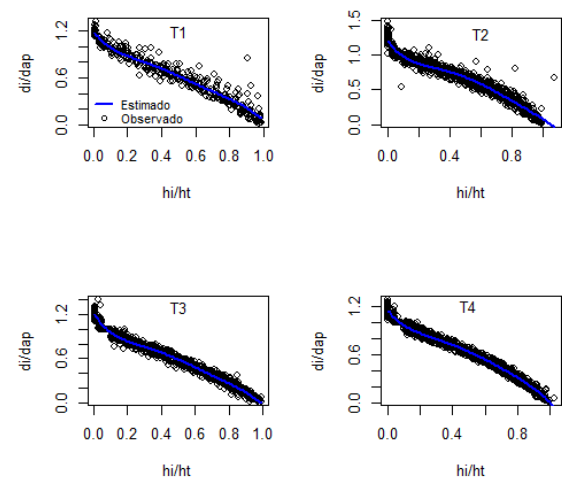


Figura 2. Representação da curva média do ajuste do modelo em relação aos dados observados

Com base nas estatísticas de ajuste e análise gráfica de resíduos o modelo apresentou-se adequado e pode ser empregado para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores de *Eucalyptus* em sistema de ILPF. Segundo Figueiredo Filho et al. (2015), o polinômio do quinto grau é a função de afilamento mais popularmente conhecida e utilizada no Sul do Brasil e tem sido frequentemente utilizada pela boa qualidade que esse modelo proporciona. Souza et al. (2016) afirma que o modelo de Schöepfer é um polinômio de grau elevado, capaz de descrever curvas com as mais variadas formas.

Teste de identidade

O teste de identidade de modelos foi aplicado para verificar se a forma ou (afilamento) dos fustes das árvores é influenciado pelo arranjo de plantio e espaçamento. A Figura 3 ilustra o afilamento estimado pelas equações do modelo de Schöepfer nos diferentes tratamentos, constatando-se que a curva de afilamento ajustada com os dados agrupados é diferente das curvas geradas por tratamento. Observa-se ainda que a forma do fuste das árvores altera-se entre os tratamentos, com maior conicidade das árvores no tratamento (T3). Esta maior conicidade das árvores no referido tratamento pode ser explicada pelo maior espaço vital em que as árvores foram conduzidas. Segundo Larson (1963), árvores crescendo em povoamentos menos adensado possuem o fuste mais côncavo, fato associado ao acréscimo do comprimento da copa. Ferreira et al. (2014) acrescenta que árvores conduzidas em condições mais adensadas possuem um comprimento de

copa menor devido a elevada competição e consequentemente apresentam formas mais cilíndricas quando comparado a árvores conduzidas em maiores espaçamentos.

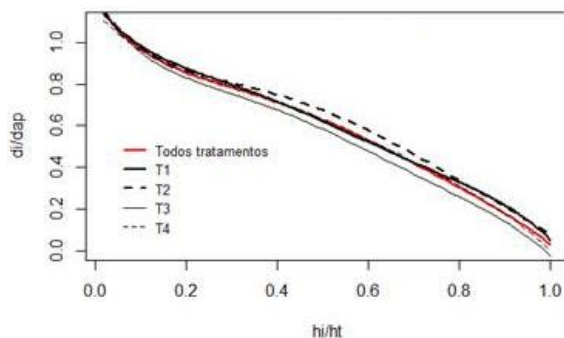


Figura 3. Perfil do fuste das árvores em diferentes tratamentos e dados agrupados

Inicialmente o teste de identidade foi realizado para os quatro tratamentos agrupados, e rejeitou-se a hipótese inicial de que não há diferença significativa entre as curvas ($p < 0,05$), evidentemente pelo menos uma equação difere das demais, logo a soma de quadrados dos resíduos para os diferentes tratamentos não se apresentam estatisticamente igual à soma de quadrados do resíduo do modelo comum (Mc). Esses resultados permitem concluir que a forma do fuste altera-se de forma significativa entre os tratamentos, consequentemente, não é recomendado aplicar uma equação geral para o conjunto total de dados, que envolve plantios em diferentes arranjos espaciais em sistemas de ILPF. Resultados semelhantes foram observados por Figueiredo Filho et al. (2015) em estudo sobre o efeito da idade no afilamento e sortimento de *Araucaria angustifolia*; Vendruscolo et al. (2016) em estudo sobre forma do fuste de árvores de *Tectona grandis* em diferentes espaçamentos e também por Souza et al. (2016) estudando a forma do fuste de *Eucalyptus* em plantios com diferentes densidades iniciais.

Posteriormente, foram conduzidos os testes aos pares de tratamentos para definição de quais os perfis dos fustes diferem entre si. Nas combinações avaliadas entre os pares de tratamentos rejeitou-se a hipótese de nulidade H_0 ($p < 0,05$), conforme a Tabela 3, indicando que a forma ou o afilamento dos fustes nos tratamentos diferem estatisticamente entre si.

Tabela 3. Resultados do teste de identidade de modelos para as diferentes combinações de tratamentos

| Tratamentos | T2 | T3 | T4 |
|-------------|----|----|----|
| T1 | S | S | S |
| T2 | - | S | S |
| T3 | - | - | S |

S=significativo; $F_{H_0} \geq F\alpha$; p-valor $\leq 0,05$

Diversos autores conduziram estudos sobre afilamento do fuste em diferentes arranjos espaciais e mencionaram que a forma do fuste é influenciada pela densidade em que os povoamentos são estabelecidos. De acordo com Baldwin et al. (2000), é esperado que árvores plantadas em maiores espaçamentos iniciais apresentem fustes mais cônicos, em comparação com árvores sob espaçamentos mais reduzidos. Resultados significativos da densidade sobre a forma do fuste também foi observada por Nogueira et al. (2008), que avaliaram a influência do arranjo espacial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* no Planalto Serrano do estado de Santa Catarina. Rance et al. (2012), avaliando plantios de

Eucalyptus grandis submetidos a diferentes arranjos espaciais e conduzidos em distintos sítios, na região sudoeste da Austrália e Souza et al. (2016), que ressaltaram haver influência significativa de diferentes densidades iniciais na forma do fuste de *Eucalyptus* em Itamarandiba, Minas Gerais.

Os resultados deste trabalho apontam a necessidade de desenvolver e aplicar equações específicas, quando envolve povoamentos com diferentes arranjos espaciais em sistemas de ILPF. Isso se torna insustentável devido quantidade excessiva de amostragem de campo e equações de afilamento específica, como também mencionado por Bi e Long (2001). Desta forma, ao invés de continuar com o desenvolvimento de equações polinomiais específicas, trabalhos futuros devem concentrar-se no desenvolvimento de equações gerais, flexíveis para otimizar o gerenciamento de povoamentos que contemplem diferentes arranjos espaciais em ILPF.

Conclusões

O modelo de afilamento utilizado é adequado para prever a forma do fuste das árvores de *Eucalyptus* em diferentes espaçamentos e arranjos de plantio.

O espaçamento e arranjo de plantio influencia de forma significativa na forma do fuste das árvores, e uma única equação não deverá ser ajustada para prever o afilamento para dados globais que contemplem diferentes densidades em sistema ILPF.

Referências

- Baldwin VC, Peterson KD, Clark A, Ferguson RB, Strub MR, Bower DR (2000) The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old loblolly pine. *Forest Ecology and Management*, 137(1):91-102. doi: 10.1016/S0378-1127(99)00340-0.
- Bi H, Long Y (2001) Flexible taper equation for site-specific management of *Pinus radiata* in New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*, 148:79-91. doi: S0378-1127(00) 00526-0.
- Campos JCC, Leite HG (2013) *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 4. ed. Viçosa: UFV. 605p.
- Carvalho SPC, Rodrigues LCE, Calegario N, Savian TV, Lima MP, Silva CA, Mendonça AR, Nicoletti MF (2014) Modelagem não linear mista para descrever o afilamento de árvores clonais de *Eucalyptus sp.* *Scientia Forestalis*, 42 (104): 605-614.
- Costa EA, Finger CAG, Schneider PR, Hess AF (2016) Função de afilamento e sortimentos de madeira para *araucaria angustifolia*. *Ciência florestal*, 26(2): 523-533.
- Figueiredo Filho A, Retslaff FAZ, Kohler SV, Becker M, Brandes D (2015) Efeito da idade no afilamento e sortimento em povoamentos de *Araucaria angustifolia*. *Revista Floresta e Ambiente*, v.22 (1): 50-59, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.080114>.
- Ferreira GWD, Filho ACF, Pinto ALR, Scolforo JRS (2014) Influência do desbaste na forma do fuste de povoamentos naturais de *Eremanthus incanus* (Less.) Less. *Ciências Agrárias*, 35 (4): 1707-1720.
- Graybill FA (2000) *Theory and application of the linear model*. Belmont: Duxbury. 704p.
- Husch B, Beers TW, Kershaw Jr. JA (2003) *Forest mensuration*. 4.ed. Malabar: Krieger Publishing Company. 443 p.

- Kozak A, Munro DD, Smith JHG (1969) Taper function and their applications in forest inventory. *Forest Chronicle*, 45(4):278-283. doi: 10.5558/tfc45278-4.
- Kohler SV, Koehler HS, Figueiredo Filho A (2013) Modelos de Afilamento para *Pinus taeda* por Classes de Idade. *FLORAM - Revista Floresta e Ambiente*, 20 (4): 470-479.
- Mendonça AR, Silva GF, Oliveira JTS, Nogueira GS, Assis, AL (2007) Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. *Cerne*, 13 (1): 71-82.
- Miguel EP, Machado SA, Figueiredo Filho A, Arce JE (2011) Modelos polinomiais para representar o perfil e o volume do fuste de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás. *Floresta*, 41(2):355-368. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v41i2>.
- Môra R, Silva GF, Goncalves FG, Soares CPB, Chichorro JF, Curto RA (2014) Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento. *Scientia Forestalis*, 42(102): 237-249.
- Müller MD, Salles TT, Paciullo DSC, Brighenti AM, Castro CRT (2014) Equações de altura, volume e afilamento para eucalipto e acácia estabelecidos em sistema silvipastoril. *Floresta*. 44(3): 473-484. Doi: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v44i3>.
- Nogueira GS, Leite HG, Reis GG, Moreira AM (2008) Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus Taeda* L. *Revista Árvore*, 32 (5): 855-860. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000500010>.
- Rance SJ, Mendham DS, Cameron DM, Grove TS (2012) An evaluation of the conical approximation as a generic model for estimating stem volume, biomass and nutriente content in young *Eucalyptus* plantations. *New Forests*, 43(1):109-128. doi: 10.1007/s11056-011-9269-5
- R Core Team (2015) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Regazzi AJ, Silva CHO (2010) Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. *Revista Ceres*, 57(3): 315-320. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2010000300005>.
- Ribeiro JR, Andrade VCL (2016) Equações de Perfil do Tronco para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh no Centro-sul Tocantinense. *Revista Floresta e Ambiente*, 23 (4): 534-543. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.133215>.
- Schöpfer W (1966) *Automatisierung des massen, sorten und wertberechnung stenender waldbestände schriftenreihe*. Bad.: Wurt-Forstl. n.p.
- SEMA-MT, Secretaria de Estado Meio Ambiente de Mato Grosso. Características do Mato Grosso. Disponível em: <http://www.sema.mt.gov.br/>. Acesso: 30/12/2016.
- Silva S, Neto SNO, Leite HG, Obolari AMM, Schettini BLS (2016) Avaliação do uso de regressão e rede neural artificial para modelagem do afilamento do fuste de eucalipto em sistema silvipastoril. *Enciclopédia Biosfera*, 13(23):189-199. Doi:10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_018.
- Souza RR, Nogueira GS, Júnior LSM, Oliveira MLR, Abrahão CP, Leite HG (2016) Forma de fuste de árvores de eucalipto em plantios adensados. *Scientia Forestalis*, 44(109):10940. doi:dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n109.03.
- Vendruscolo DGS, Drescher R, Carvalho SPC, Souza HS, Silva RS, Chaves AGS (2016) Forma do fuste de árvores de *Tectona grandis* em diferentes espaçamentos. *Advances in Forestry Science*, 3(3): 51-54.