

ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA GRAPPLE SAW EM FLORESTAS DE *EUCALYPTUS*: ABORDAGEM DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

SASSO JÚNIOR, V. A.¹; SILVA, T.¹; ALMEIDA, R. O.²; BASSAN, A. R.¹; SIMÕES, D.1

¹Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu;

²Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Câmpus Muriaé.

RESUMO

A aplicação do método dos mínimos quadrados é uma técnica estatística que permite o ajuste de curvas para um conjunto de dados. Assim, o objetivo foi avaliar se o método dos mínimos quadrados permite obter uma projeção para produtividade da *grapple saw* no processamento de toras de *Eucalyptus*. O estudo foi realizado em uma floresta plantada de *Eucalyptus*, localizada no estado de São Paulo. Os dados foram coletados por meio do estudo de tempos, conforme o método contínuo. O ciclo operacional foi composto pelos tempos efetivos dos elementos de máquina. O modelo algébrico adotado foi o método dos mínimos quadrados. Conclui-se que o método dos mínimos quadrados permite ajustar uma função algébrica com menores erros para estimar a produtividade da *grapple saw* empregada no processamento de toras de *Eucalyptus*.

Palavras-Chave: *Full tree*, colheita de madeira, projeções ortogonais.

INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus*, um dos principais gêneros da família *Myrtaceae*, compreende mais de 700 espécies, sendo a maioria nativa da Austrália. Há uma crescente procura do gênero devido a seu rendimento na produção de matéria-prima florestal e crescimento rápido. No Brasil, nota-se um aumento de florestas plantadas de *Eucalyptus*, com fins econômicos, alcançando 7.616.184 ha em 2019 (SABIU, et al., 2017; ANDRADE, et al., 2019; SERVIÇO NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS, 2020; PINTO JÚNIOR e SILVEIRA, 2021).

A colheita destas florestas pode ser realizada por diferentes sistemas. Dentre eles, o sistema *full tree* de colheita de madeira mecanizada é estruturado em módulos compostos por um conjunto de máquinas florestais autopropelidas, como exemplo, *feller-buncher*, para o corte e derrubada das árvores, *grapple skidder*, empregado para o arraste de madeiras até as margens das estradas florestais ou pátios de processamento, e *grapple saw*, para efetuar o processamento das toras (BASSOLI, et al., 2020; GÜLCI, et al., 2021).

Tratando-se da *grapple saw*, consiste em uma máquina equipada com uma garra embutida com serra hidráulica, o que permite a realização de desgalhamento, corte transversal dos feixes de madeira e, posteriormente, o empilhamento destes, preparando-os para serem carregados. Esta máquina é oferecida por vários fabricantes e pode ser adquirida como um implemento completo (DINIZ, et al., 2018a; SPINELLI, et al., 2019).

Devido à importância notória atrelada aos direcionadores da atividade de colheita de madeira, a produtividade da *grapple saw* é considerada um coeficiente relevante para a gestão das operações florestais. Destarte, alguns fatores podem influenciar sua produtividade, como as características da própria máquina, o volume médio individual das árvores, a altura das pilhas formadas pelo *grapple skidder*, o desempenho do operador e a inclinação do terreno (MIYAJIMA, et al., 2019; GHAFARIYAN, 2020; ARAÚJO, et al., 2021).

À vista disso, o planejamento operacional da *grapple saw* pode ser realizado por meio da análise de regressão, a qual corresponde a uma ferramenta estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis, como o tempo do ciclo operacional e o volume de madeira processado, para prever o comportamento da variável de interesse, sendo esta, a produtividade da máquina (SOARES JUNIOR e SOARES, 2021).

Para que o modelo de regressão seja construído é necessário estimar os parâmetros da regressão, geralmente realizado pelo método dos mínimos quadrados. Este método busca ajustar a melhor curva para o gráfico de dispersão dos dados, visando minimizar a soma dos quadrados dos erros (THOMAZ, et al., 2019; GARCIA, et al., 2020).

Com isso, ao estimar a linha de regressão, reduz-se a soma dos desvios ou erros primários nos pontos observados, minimizando a soma dos quadrados das diferenças entre os valores reais e os calculados. O método dos mínimos quadrados é muito útil, pois permite estimar funções que melhor se ajustam a um certo conjunto de informações, obtendo previsões para dados desconhecidos (FÉLIX e CORDEIRO JUNIOR, 2019; SANTANA, et al., 2019; SHAREEF e HASAN, 2020).

Diante deste contexto, o objetivo foi avaliar se o método dos mínimos quadrados permite obter uma projeção para produtividade da *grapple saw* no processamento de toras de *Eucalyptus*.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma floresta plantada de *Eucalyptus*, localizada no estado de São Paulo, conduzido sob regime de alto fuste, com espaçamento de 3 m x 2 m e com árvores que apresentaram diâmetro a altura do peito (DAP) médio de 14,95 cm \pm 3,62 cm, altura média de 20,87 m \pm 3,28 m e volume médio individual de 0,20 m³.

O processamento das toras de *Eucalyptus* foi realizada por uma *grapple saw* da marca *John Deere*, modelo 2154 D, 159 HP de potência nominal, rodados de esteira e massa de 25.744 Kg. Na extremidade dianteira da máquina florestal autopropelida havia uma grua hidráulica com 8,90 m de comprimento, a qual possuía como acoplamento uma garra traçadora da marca J de Souza, com velocidade de corte de 4,55 m.s⁻¹.

Foram avaliadas duas condições operacionais, isto é, com garras traçadoras que diferiram em relação a abertura máxima, caracterizadas como: *grapple saw* 1 (GS1) que permitia a abertura máxima de 2.150 mm, logo, área útil de 0,58 m², e serra de 45"; e *grapple*

saw 2 (GS2) que permitia a abertura máxima de 2.400 mm, portanto, com área útil de 0,85 m², e serra de 52”.

Os dados foram coletados por meio do estudo de tempos pautado no método contínuo. O ciclo operacional foi composto pelos tempos efetivos dos elementos de máquina, mensurados em segundos (s), a saber: carregar feixes de madeira; processamento das toras; e movimento vazio da grua (DINIZ, et al., 2018b).

A suficiência amostral da análise foi calculada mediante a Equação (1), concordante com Bussab e Morettin (2017).

$$n = \frac{\sigma^2 \times z_y^2}{\varepsilon^2} \quad (1)$$

Sendo: n – suficiência amostral; σ^2 – variância; z_y – distribuição amostral da estatística; e ε^2 – erro amostral.

A produtividade foi determinada conforme a Equação (2), em consonância com Simões, et al. (2018).

$$E_p = \frac{v}{h} \quad (2)$$

Sendo: E_p – produtividade efetiva do *grapple saw*; v – volume da madeira processado; e h – horas de trabalho.

O modelo algébrico adotado foi o método dos mínimos quadrados, aplicado para a correlação entre o tempo do ciclo operacional e o volume de madeira processada, conforme Seiffert, et al. (2021).

Gerou-se uma função algébrica $g(x)$ para prever a produtividade. Sendo $f(x)$ a função que descreveu exatamente a operação de derrubada, para cada x_i , onde x_i é o tempo médio do ciclo operacional para o volume de madeira $f(x_i)$. Obteve-se uma função $g(x)$ que interpolou a função $f(x)$ nos pontos x_i . Assim, $g(x)$ foi uma aproximação para $f(x)$ por meio do método dos mínimos quadrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o processamento das toras realizado pela *GS1*, a função algébrica $g(x)$, que interpolou a função $f(x)$, foi $g(x) = 7,314 \cdot \ln(x) - 29,788$. Em relação ao processamento das toras por meio da *GS2*, a função algébrica $g(x)$, que interpolou a função $f(x)$, foi $g(x) = -0,00003x^2 - 0,0168x + 5,7866$.

Além disso, demandou a garantia de que a função $g(x)$ foi uma boa interpolação para a função $f(x)$. Desse modo, calculou-se o erro quadrático médio por meio da Equação (3), de acordo com Rincón e Starostenko (2019).

$$EQM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_{x_i})^2 \quad (3)$$

Sendo: EQM – erro quadrático médio; n – número de prognósticos; e e_{x_i} – erro em cada tempo médio do ciclo operacional (x_i), dado por $(f(x_i) - g(x_i))^2$.

Notadamente, quando o erro tendeu a 0 (zero), o ajuste aproximou da interpolação ideal, ou seja, $g(x)$ é a função que apresentou os menores erros de ajuste. Foi definido o coeficiente de determinação (R^2), indicando, de modo relativo, a qualidade do ajuste, conforme a Equação (4), descrito por Campos Filho (2018).

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}} \quad (4)$$

Sendo: $SQ_{total} = SQ_{res} + SQ_{exp}$ – igual à soma de SQ_{res} com SQ_{exp} ; $SQ_{total} = \sum_{i=1}^n (f(x_i) - \overline{f(x)})^2$ – soma total dos quadrados, ou seja, a soma dos quadrados das diferenças valor observado e média dos valores observados; $SQ_{res} = \sum_{i=1}^n (f(x_i) - g(x_i))^2$ – soma dos quadrados dos resíduos, indicou a diferença entre valor observado e valor estimado; e $SQ_{exp} = \sum_{i=1}^n (g(x_i) - \overline{f(x)})^2$ – soma dos quadrados explicada, indicou a diferença entre o valor estimado para cada observação e a média das observações.

Observa-se na Tabela 1 a função algébrica $g(x)$ com o ajuste que $f(x_i) \approx g(x_i)$, para x_i , considerando o tempo do ciclo operacional. Para efeito de qualidade do ajuste, o cálculo do coeficiente de determinação define um valor numérico entre 0 e 1 indicando que, quando o valor tende a 1, menor é a variância sofrida pela variável.

Tabela 1. Coeficiente de determinação, soma dos quadrados dos resíduos, soma dos quadrados totais e qualidade do ajuste da produtividade da *grapple saw*.

Coeficiente de determinação	SQ_{res}	SQ_{total}	R^2
$R^2 = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}}^*$	3,6252	27,3867	0,8676
$R^2 = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}}^{**}$	4,2842	16,1852	0,7353

*GSI; **GS2.

CONCLUSÕES

O método dos mínimos quadrados permite ajustar uma função algébrica com os menores erros para estimar a produtividade da *grapple saw* empregada no processamento de toras de *Eucalyptus*.

A qualidade do ajuste para a *grapple saw* com área útil de 0,85 m² foi inferior quando comparada com a *grapple saw* com área de 0,58 m², devido aos períodos mais longos dos ciclos operacionais.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. R.; MAIA-JÚNIOR, S. O.; SANTOS, A. F. S.; SILVA, V. M.; BEZERRA, L. T.; SILVA, J. R. R.; SANTOS, C. M.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L. Photosynthetic performance in *Eucalyptus* clones cultivated in saline soil. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 31, n. 5, p. 368-379, 2019.

ARAÚJO, L. C.; LEITE, A. M. P.; FREITAS, L. C.; OLIVEIRA, M. L. R. Operações de traçamento de madeira em povoamentos de eucalipto com a presença e ausência de corredores ecológicos: reflexos no rendimento e custos. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 131, p. 1-12, 2021.

BASSOLI, H. M.; BATISTELA, G. C.; FENNER, P. T.; SIMÕES, D. Custo anual uniforme equivalente de máquinas de colheita de madeira: uma abordagem estocástica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 40, p. 2-10, 2020.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. São Paulo: Saraiva Uni. 2017. 9 ed. 568 p.

CAMPOS FILHO, F. F. **Algoritmos numéricos**: uma abordagem moderna de cálculo numérico. São Paulo: LTC. 2018, 520 p.

CARVALHO, R. L. S.; DELGADO, A. R. S. Estimativas das modelagens por redes neurais tipo GMDH e BOX-JENKINS para as séries de temperaturas máximas e mínimas do município de Ariquemes (RO). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, n. 1, p. 326-344, 2020.

DINIZ, C. C. C.; ROBERT, R. C. G.; VARGAS, M. B. Avaliação técnica de cabeçotes individual e múltiplo no processamento de madeira. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 1, p.253-258, 2018a.

DINIZ, C. C. C.; NAKAJIMA, N. Y.; ROBERT, R. C. G.; DOLÁCIO, C. J. F.; SILVA, F. A. Desempenho de um feller buncher em extrema variação da declividade do terreno. **Advances in Forestry Science**, v.5, n.3, p.381-384, 2018b.

FELIX, F. E. F.; CORDEIRO JUNIOR, R. A. O método dos mínimos quadrados aplicado ao ajuste de curvas. **Hipátia**, v. 4, n. 2, p.282-294, 2019.

GARCIA, I. A.; HIRDES, A. R.; INOUE, M. D.; SANTOS, A. J. R. W. A. Avaliação de métodos titulométricos para determinação do grau de desacetilação em quitosana. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p.4066-4084, 2020.

GHAFFARIYAN, M. R. Short Review on Overview of Forest Biomass Harvesting Case Studies in Australia. **Silva Balcanica**, v. 20, n. 1, p. 1, 2019.

GÜLCI, N.; YÜKSEL, K; GÜLCI, S.; SERIN, H.; BILICI, E.; AKAY, A. E. Analysis of a feller-buncher productivity: a case study of whole-tree harvesting from Marmara region, Turkey. **Annals of Forest Research**, v. 64, n. 1, p. 99-110, 2021.

MIYAJIMA, R. H.; FENNER, P. T.; BATISTELA, G. C.; SIMÕES, D. Technical-economic analysis of grapple saw: a stochastic approach. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 41, n. 2, p. 1-11, 2020.

PINTO-JÚNIOR, J. E.; SILVEIRA, R. A. A introdução do eucalipto no Brasil pela Embrapa: bases institucionais e sua estruturação para a pesquisa com eucaliptos e corímbias. In: OLIVEIRA, E. B.; PINTO JUNIOR, J. E. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília: Embrapa; 2021. 1 ed. 1163 p.

RINCÓN, O. L.; STAROSTENKO, O. A Simplified Generative Model Based on Gradient Descent and Mean Square Error. In: VELA, S. P.; HERNÁNDEZ, L. R. **Technology, science, and culture: a global vision**. Londres: IntechOpen; 2019. v. 2. 142 p.

SABIU, S.; AJANI, E. O.; SUNMONU, T. O.; BALOGUN, F. O.; ASHAFI, A. O. T.; OTHMAN, R. B.; OLOWA, S. K. Mechanism of hepatoprotective potential of aqueous leaves extract of *Eucalyptus obliqua* (Myrtaceae) in carbon tetrachloride intoxicated Wistar rats. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 7, n. 8, p. 183-190, 2017.

SANTANA, F. T.; MACEDO, I. M. A.; MARCONE, M. H. F.; SANTANA, F. L. Inovação no processo de ensino e aprendizagem de álgebra linear usando o software GeoGebra. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p.15095-15105, 2019.

SEIFFERT, G. P.; CHIQUETTI, R.; AVILA, S. L. **Cálculo numérico aplicado à engenharia elétrica com Python**. Florianópolis: Publicações do IFSC; 2021. v. 1. 136 p.

SHAREEF, M. A.; HASAN, S. F. Characterization and estimation of dates palm trees in an urban area using gis-based least-squares model and minimum noise fraction images. **Journal of Ecological Engineering**, v. 21, n. 6, p. 78-85, 2020.

SIMÕES, D.; MIYAJIMA, R. H.; TONIN, R. P.; FENNER, P. T.; BATISTELA, G. C. Incorporation of uncertainty in technical and economic analysis of a feller-buncher. **Floresta**, v. 48, n. 3, p. 403-412, 2018.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS - SNIF. **Boletim SNIF**. 2020. Disponível em:
https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Boletim_SNIF_ed1_2020_vfinal.pdf.
Acesso em: 26 mai. 2021.

SOARES JUNIOR, R. A.; SOARES, I. A. Regressão linear com mínimos quadrados para representação dos resultados do ensaio proctor normal. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p.77822-77830, 2021.

SPINELLI, R.; LOMBARDINI, C.; MARCHI, E.; AMINTI, G. A low-investment technology for the simplified processing of energy wood from coppice forests. **European Journal of Forest Research**, v. 138, n. 1, p.31-41, 2019.

THOMAZ, P. S.; NUNES, G. S.; MATTOS, V. L. D. Avaliação do desempenho do Método dos Mínimos Quadrados: um estudo de caso com duas séries temporais de índices macroeconômicos. **Revista de Informática Aplicada**, v. 15, n. 1, p. 74-85, 2019.