



MODELAGEM MATEMÁTICA DA PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE PRODUÇÃO DO *GRAPPLE SKIDDER* EM FLORESTAS DE *EUCALYPTUS*

Felipe Soares Cavalcante¹, Thamires da Silva¹, Qüinny Soares Rocha¹, Giovani Caprioli Garcia¹, Valier Augusto Sasso Junior¹, Danilo Simões².

¹ Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, São Paulo (felipe.cavalcante@unesp.br); ² Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus Experimental de Itapeva, Itapeva, São Paulo. (felipe.cavalcante@unesp.br).

RESUMO: A estimativa da produtividade em operações da colheita de madeira mecanizada, torna-se indispensável para o planejamento das máquinas florestais autopropelidas. Desse modo, objetivou-se a avaliação técnica e econômica da extração de madeira realizada por meio do *grapple skidder* em uma floresta de *Eucalyptus*. Avaliou-se tecnicamente os ciclos operacionais da máquina por meio do estudo de tempos em diferentes classes de extração. Obteve-se equações de regressão para cada classe de extração que permitiram a estimativa da produtividade do *grapple skidder* e seu custo de produção. O custo por hora programada do *grapple skidder* foi de USD 89,71 m³. Os resultados demonstraram que a redução na distância de extração e o aumento no volume da madeira proporcionam maior produtividade e menores custos de produção para o *grapple skidder* e a equação de regressão para a classe de extração de 151-200m apresentou o melhor coeficiente de determinação para as condições analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: estudo de tempos, planejamento operacional, colheita de madeira

INTRODUÇÃO

A colheita de madeira em florestas plantadas é realizada, em sua maioria, por meio de sistemas mecanizados. Isto posto, tem-se que esses sistemas contribuíram com diversos avanços para o setor florestal, como: o aumento da produtividade, maior segurança aos operadores e redução dos custos de produção (PEREIRA; LOPES; DIAS, 2015). Assim, na colheita mecanizada utiliza-se o sistema *full tree* a fim de extrair as árvores com maior volume individual (DINIZ et al., 2019).

Ademais, o sistema *full tree* caracteriza-se pela derrubada e arraste de árvores sem raízes até as margens do talhão para posterior processamento da madeira (RODRIGUES et al., 2018). Destarte, o *grapple skidder* é um trator florestal arrastador que pode ser usado nas



operações de extração da madeira no sistema *full tree*, a máquina florestal autopropelida pode possuir tração 4x4, 6x6 ou 8x8 e rodados de pneus ou esteiras (RODRIGUES, 2018).

Sob outra perspectiva, aplica-se também a modelagem matemática visando o melhor planejamento da gestão florestal (CONSTANTINO; MARTINS, 2018). Segundo Leite et al. (2014), a construção de modelos matemáticos ocorre a partir das variáveis mais significativas, e, portanto, correlaciona-se as variáveis com a produtividade operacional e custos dos modais de colheita.

Dada a notoriedade da colheita de madeira e os custos onerosos da atividade, torna-se possível otimizar processos de produção por meio da modelagem matemática. Diante do exposto, objetivou-se a avaliação técnica e econômica da extração de madeira realizada por meio do *grapple skidder* em uma floresta de *Eucalyptus*.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em área de floresta plantada de *Eucalyptus*, em espaçamento $3\text{m} \times 2\text{m}$, com volume médio individual de $0,18\text{ m}^3$, pertencente a uma indústria e comércio de chapas de fibra de madeira, localizada na região Centro-Oeste do estado de São Paulo, Brasil.

O sistema de colheita empregado foi o *full tree*, em que as árvores eram extraídas até as margens das estradas com auxílio do *grapple skidder* da marca *John Deere*, modelo 948 L, com 210 kw de potência líquida do motor na rotação nominal, articulado, com sistema rodante pneumático.

Realizou-se um estudo piloto para estimar a quantidade de amostras necessárias em conformidade a Conaw (1977). Os ciclos operacionais do *grapple skidder* foram: deslocamento sem carga (DSC); deslocamento com carga (DCC), carregamento dos feixes de madeira (CFM), descarregamento dos feixes de madeira (DFM) e volume médio extraído por ciclo (VOL).

A produtividade do *grapple skidder* foi estimada em metros cúbicos de madeira extraída por hora efetiva de trabalho por meio da modelagem matemática obtida para cada classe de extração (COSTA et al., 2017). Em cada classe de extração, diferentes variáveis foram consideradas nas equações de regressão. Isso se deve ao fato de que determinadas



combinações dos elementos do ciclo operacional foram mais eficientes em estimar a produtividade do *grapple skidder*.

O custo por hora programada da máquina autoprovelida foi calculado conforme Ackerman et al. (2014). O custo de produção (CP), foi obtido de acordo com Barros *et al.* (2021). As análises estatísticas foram realizadas por meio do *software* estatístico R (R Development Core Team, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações de regressão visaram estimar a produtividade do *grapple skidder* para as diferentes classes de extração e podem ser observadas na Tabela 1. Portanto, a partir das equações matemáticas foi possível obter o custo de produção, sendo eles: 0,49, 0,45, 0,57 e 0,68 USD m³, respectivamente para as classes de extração de 0-50m, 51-100m, 101-150m e 151-200m, evidenciando a tendência de aumento do custo de produção em relação ao aumento da distância de arraste, sendo que o melhor desempenho ocorreu em menores distâncias, em conformidade com Spinelli *et al.* (2021) e Strandgard, Mitchell e Wiedemann. (2019).

Tabela 1. Modelagem matemática para diferentes classes de extração

Classe de Extração (m)o	Equação de Regressão	R ²
0-50	PRO = 219.7341 + (-1.5660* DSC) + (-1.4298* DCC) + (24.3986*VOL)	0.874
51-100	PRO = 197.73196 + (-1.21886*DSC) + (-0.74396*CFM) + (-1.08507*DCC) + (-1.29616+DFM) + (20.00911*VOL)	0.983
101-150	PRO = 156.62703 + (-0.77545*DSC) + (-0.71985*CFM) + (-0.76248*DCC) + (-0.72847*DFM) + (17.45300*VOL)	0.993
151-200	PRO = 101.30499 + (-0.52592*DCC) + (0.00169*VOL)	0.999

CONCLUSÕES

A equação de regressão para a classe de extração de 151-200m apresentou o melhor coeficiente de determinação para as condições analisadas.



A redução na distância de extração e o aumento no volume da madeira proporcionam maior produtividade e menores custos de produção para o *grapple skidder*.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsas de estudo, processo nº 2020/11921-3.

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, P. et al. The cost model for calculation of forest operations costs. **International Journal of Forest Engineering**, Nova Iorque, v. 25, n. 1, p. 75-81, 2014.
- BARROS, A. P. S. et al. Influência do volume por árvore e da distância de extração no desempenho do skidder em povoamentos de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 131, p. e3612, 2021.
- CONAW, P. L. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 264 p
- COSTA, E. M. et al. Desempenho e custos operacionais de um *harvester* em floresta de baixa produtividade. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 25, n. 2, p. 124-131, 2017.
- CONSTANTINO, M.; MARTINS, I. Branch and cut for the forest harvest scheduling subject to clearcut and core area constraints. **European Journal of Operational Research**. Amsterdã, v. 265, n. 2, p. 723-734, 2018.
- DINIZ, C. C. C. et al. Atores na decisão de compra e/ou substituição de máquinas de colheita florestal. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 1, p. 190-194, 2019.
- LEITE, E. S. et al. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo forwarder. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 38, n. 5, p. 879-887, 2014.
- MIYAJIMA, R. H. et al. Extração de eucalipto com *grapple skidder*: abordagem de produtividade operacional e custos de produção. **Scientia Forestalis**, v. 48, n.128, p. 13, 2020.
- PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. S.; DIAS, A. N. Análise técnica e de custo do feller buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 981-989, 2015.
- RODRIGUES, C. K. **Colheita e transporte florestal**. Curitiba: Edição do autor, 2018. 75 p.
- RODRIGUES, C. K. et al. Influência do volume das árvores no desempenho do processador florestal harvester em povoamento de eucalipto. **Biofix Scientific Journal**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 237-242, 2018.
- SPINELLI, R. et al. The Effect of Yarding Technique on Yarding Productivity and Cost: Conventional Single-Hitch Suspension vs. Horizontal Double-Hitch Suspension. **Croatian Journal of Forest Engineerin**, v. 42, n. 3, p. 369-380, 2021.
- STRANDGARD, M.; MITCHELL, R.; WIEDEMANN, J. Comparison of productivity, cost and chip quality of four balanced harvest systems operating in a eucalyptus globulus plantation in Western Australia. **Croatian Journal of Forest Engineerin**, v. 40, n. 1, p. 39-48, 2019.