

Emissão de carbono do *feller buncher* na colheita mecanizada de madeira de *Eucalyptus*

Valier Augusto Sasso Júnior ¹; Thamires da Silva ²; Quinny Soares Rocha ³; Stéfano Sigolo Tamiosso ⁴; Danilo Simões ⁵;

¹. Engenheiro Florestal, Graduando, estudante na Universidade Estadual Paulista(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. E-mail: valier.sasso@unesp.br

² Engenheira Florestal, Graduanda, estudante na Universidade Estadual Paulista(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. E-mail: thamires.silva@unesp.br

³ Engenheira Florestal, Doutoranda, estudante na Universidade Estadual Paulista(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. E-mail: quinny.rocha@unesp.br

⁴ Engenheiro Florestal, Graduando, estudante na Universidade Estadual Paulista(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. E-mail: stefano.tamiosso@unesp.br

⁵. Administrador de Empresas, Pós-Dr., Professor pesquisador na Universidade Estadual Paulista(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. E-mail: danilo.simoies@unesp.br

Resumo

A operação de colheita de madeira é responsável por mais da metade da emissão de carbono do processo produtivo das florestas plantadas. Diante deste contexto, o objetivo do estudo foi analisar se existe diferença estatística entre a produtividade e a emissão de carbono das máquinas florestais autopropelidas *feller buncher* em florestas plantadas de *Eucalyptus*. Foram comparadas a produtividade e a emissão de carbono de duas máquinas florestais autopropelidas *feller buncher* empregadas na atividade de derrubada das árvores. Realizou-se a Análise de Variância em Delineamento Inteiramente Casualizado com 5,00% de significância. Não houve diferença estatística significativa da produtividade e da emissão de carbono entre as máquinas florestais autopropelidas *feller bunchers* a 5% de significância na atividade de derrubada das árvores.

Palavras-chave: derrubada de árvores, produtividade, operações florestais.

Introdução

A operação de colheita de madeira, etapa final na produção em florestas plantadas, envolve atividades de derrubada, extração e processamento da madeira. Em empresas de base florestal, essa operação normalmente é mecanizada, a exemplo do sistema *full tree*. A operação de colheita de madeira está sujeita a importantes restrições, como econômica, técnica, ergonômica e ambiental, sendo necessário a racionalização da operação, almejando práticas de manejo mais adequadas (GÜLCI et al, 2021; SILVA et al., 2022).

No sistema *full tree*, ou sistema de árvores inteiras, realiza-se o corte acumulado de árvores por meio da máquina florestal autopropelida denominada *feller buncher*. Esta máquina pode ser propulsionada por gás óleo, o que acarreta a emissão de gases hidrocarbonetos, que agravam o efeito estufa (BILICI et al, 2019; LIMA et al, 2020; SPATARI et al., 2020).

Concernente as restrições ambientais, a operação de colheita de madeira é responsável por, aproximadamente, 60% das emissões de gases hidrocarbonetos, como o gás carbônico e o metano. Essas emissões antropogênicas, originadas a partir da queima dos combustíveis, são algumas das principais causas do aumento de temperatura média global (ABBAS; HANDLER, 2018; SPINELLI et al., 2018; BASU et al., 2020).

Diante deste contexto, o objetivo do estudo foi analisar se existe diferença estatística entre a produtividade e a emissão de carbono das máquinas florestais autopropelidas *feller buncher* em florestas plantadas de *Eucalyptus*.

Material e Métodos

Objeto de estudo

Desenvolveu-se o estudo a partir de dados das atividades de derrubada de árvores em uma floresta plantada de *Eucalyptus* com idade média de $10,2 \pm 2,68$ anos, localizada no estado de São Paulo, com relevo plano (0-3%), identificado pela classificação brasileira de solos (SANTOS et al., 2018). A umidade relativa média na região era de 69,24%, apresentando uma temperatura média de 16 °C.

O sistema de colheita mecanizado de madeira era o *full tree*, realizado por meio de dois *feller bunchers*, ambos da marca *Tigercat* - modelo L870C, motor com potência nominal de 224 kW, massa

aproximada de 35.600 kg, rodados de esteira e alcance máximo do braço do cabeçote de 8,46 m, denotados como FB1 e FB2. No início da coleta dos dados, apresentaram 11.000 e 5.372 horas de uso acumuladas, respectivamente. Portanto, ambos os *feller bunchers* desenvolveram as atividades nas mesmas condições operacionais.

Metodologia

A produtividade (Equação 1) do FB1 e FB2 foi determinada em consonância com Miyajima et al. (2020).

$$NMP = \frac{V_m}{H} \quad (1)$$

em que:

NMP é a produtividade por hora efetiva da máquina em $m^3 h^{-1}$;

V_m é o volume de madeira derrubado em m^3 ;

H é a hora efetiva da operação.

A emissão de carbono das máquinas florestais autopropelida (Equação 2) foi obtida a partir da metodologia descrita por Ackerman et al. (2017).

$$Emissão = \frac{Combustível * FD * FO * C}{C_{(m.w.)}} \quad (2)$$

em que:

$Emissão$ é a quantidade de carbono emitido pelo feller buncher em $Kg m^{-3}$;

$Combustível$ é o volume de diesel consumido diariamente;

FD é o teor de carbono do diesel, assumido como $0,731757 kg C L^{-1}$;

FO é a fração de diesel oxidado, assumido como 1,00;

$\frac{CO_{2(m.w.)}}{C_{(m.w.)}}$ é o fator de conversão de C em CO_2 baseado no peso molecular, $3,6667 g CO_2 g C^{-1}$.

Os dados foram submetidos ao teste de *Shapiro-Wilk* e ao teste de *Bartlett* que verificaram os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade. Realizou-se também a Análise de Variância – ANOVA com 5,00% de significância, para verificar se existe diferença estatística entre a produtividade e a emissão de carbono das máquinas florestais autopropelidas, FB1 e FB2, aplicando o Delineamento Inteiramente Casualizado – DIC utilizando o *software R* (LEE; LEE, 2018; R CORE TEAM, 2022).

Resultados e Discussão

A produtividade média do FB1 e FB2 foi de $76,97 m^3 h^{-1}$ e $84,12 m^3 h^{-1}$, respectivamente. Não foi encontrada diferença estatística significativa entre a produtividade das máquinas florestais autopropelidas (Tabela 1). De acordo com Teixeira et al. (2018), a determinação da produtividade das máquinas florestais autopropelidas em situação real de trabalho é de fundamental importância para o planejamento da colheita mecanizada de madeira. As características do talhão como declividade do terreno, textura do solo e volume das árvores, bem como as características da máquina e do operador, influenciam a produtividade das máquinas florestais autopropelidas.

Tabela 1. Análise de variância da produtividade do FB1 e FB2.

Fator de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado	p
Tratamento	1	1.137	1.137	0,84	0,35
Resíduo	89	119.413	1.341		
Total	90	120.550			

A emissão de carbono durante a atividade de derrubada na colheita florestal pelo FB1 foi de $6,00 kg m^{-3}$ e $6,32 kg m^{-3}$ no FB2. A colheita de madeira se caracteriza por emitir elevados níveis de carbono devido ao consumo de combustível das máquinas (SANTOS et al., 2020). Conforme Zhang

et al. (2016), quando comparada a outras máquinas florestais que executam a derrubada de madeira, o *feller buncher* consome mais combustível durante as atividades florestais, resultando em maior emissão de carbono.

Ao comparar a emissão de carbono do FB1 e FB2, observou-se que não houve diferença estatística significativa (Tabela 2). As condições climáticas e topográficas da área são um dos fatores que afetam o consumo de combustível das máquinas, o que podem explicar a semelhança entre as médias de emissão de carbono. Diniz et al. (2019) afirmam que, quando as manutenções são executadas corretamente, previnem o consumo excessivo de combustível, e, portanto, pode-se justificar a semelhança da emissão de carbono entre as máquinas florestais autopropelidas, mesmo com a diferença de horas de uso.

Tabela 2. Análise de variância da emissão de carbono do FB1 e FB2.

Fator de variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F calculado	p
Tratamento	1	2,23	2,23	0,28	0,60
Resíduo	89	712,84	8,01		
Total	90	715,05			

Conclusões

A produtividade média do *feller buncher* em florestas plantadas de *Eucalyptus* em relevo plano é 80,04 m³ h⁻¹.

A emissão média de carbono durante a atividade de derrubada de madeira em florestas plantadas de *Eucalyptus* corresponde a 6,14 kg m⁻³.

Agradecimentos/Apoio

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

Referências Bibliográficas

ABBAS, D.; HANDLER, R. M. Life-cycle assessment of forest harvesting and transportation operations in Tennessee. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, n. 8, p. 512-520, 2018.

ACKERMAN, P.; WILLIAMS, C.; ACKERMAN, S.; NATI, C. Diesel consumption and carbon balance in South African Pine clear-felling CTL operations: a preliminary case study. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 38, n. 1, p. 65-72, 2017.

BASU, S.; LEHMAN, S. J.; MILLER, J. B.; ANDREWS, A. E.; SWEENEY, C.; GURNEY, K. R.; XU, X.; SOUTHON, J.; TANS, P. P. Estimating US fossil fuel CO₂ emissions from measurements of 14C in atmospheric CO₂. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 24, p. 13300-13307, 2020.

BILICI, E.; AKAY, A. E.; ABBAS, D. Assessing the effects of site factors on the productivity of a feller buncher: a time and motion analysis. **Journal of Forestry Research**, v. 30, n. 4, p. 1471-1478, 2019.

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

DINIZ, C. C. C.; ROTHBARTH, D. L.; LOPES, E. S.; MIRANDA, G. M.; KOEHLER, H. S.; OLIVEIRA, G. S. Optimization of maintenance activity using the world-class maintenance system in skidder forest operations. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 10, p. 162-171, 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.

LEE, S.; LEE, D. K. What is the proper way to apply the multiple comparison test? **Korean Journal of Anesthesiology**, v. 71, n. 5, p. 353-360, 2018.

LIMA, L. F.; PELISSARI, A. L.; RODRIGUES, C. K.; SOUSA, N. J.; CORTE, A. P. D. Quality assessment of pine wood harvesting by residue inventory using line intercept cluster sampling. **International Journal of Forest Engineering**, v. 31, n. 3, p.205-210, 2020.

MIYAJIMA, R. H., PASSOS, J. R. S., FENNER, P. T., & SIMÕES, D. Extração de eucalipto com grapple skidder: abordagem de produtividade operacional e custos de produção. **Scientia Forestalis**, v 48, n 128, p. e3298, 2020.

R CORE TEAM (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. URL <https://www.R-project.org>.

SANTOS, D. W. F. N.; VALENTE, D. S. M.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P.; CECON, P. R. Technical, economic, and environmental parameters of excavator-based harvester in function of engine speed and hydraulic pump flow. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 41, n. 2, p. 1-12, 2020.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018, 353 p.

SILVA, J. M.; SANTANA, L. S.; VOLPATO, C. E. S.; SILVA, A. B. A.; GOIZ, T. B. Assertiveness of a log length sensor allocated in different positions on the harvester head. **Floresta**, v. 52, n. 2, p. 294-303, 2022.

SPATARI, S.; LARNAUDIE, V.; MANNOH, M.; WHEELER, M.C.; MACKEN, N.A.; MULLEN, C.A.; BOATENG, A.A. Environmental, exergetic and economic tradeoffs of catalytic- and fast pyrolysis-to-renewable diesel. **Renewable Energy**, v. 162, n. 20, p. 371-380, 2020.

SPINELLI, R.; MOURA, A. C. A.; SILVA, P. M. Decreasing the diesel fuel consumption and CO2 emissions of industrial in-field chipping operations. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, n. 4, p. 2174-2181, 2018.

TEIXEIRA, R. C.; SANTOS, D. W. F. do N.; FERNANDES, H. C.; DADALTO, J. P. Desempenho técnico e econômico do *feller-buncher* em distintas características dendrométricas do povoamento florestal. *Nativa*, v. 6, n. especial, p. 782-786, 2018

ZHANG, F.; JOHNSON, D. M.; WANG, J.; YU, C. Cost, energy use and GHG emissions for forest biomass harvesting operations. **Energy**, v. 114, n. 1, p. 1053-1062, 2016.