

DESEMPENHO ENERGÉTICO DE COLHEADORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES PRODUTIVIDADES AGRÍCOLAS E VELOCIDADES DE TRABALHO

FERNANDA SCARANELLO DRUDI¹, MURILO BATTISTUZZI MARTINS², JOÃO VITOR PAULO TESTA³, CARLOS RENATO GUEDES RAMOS⁴, KLÉBER PEREIRA LANÇAS⁵

¹ Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista, rua: José Barbosa de Barros, 1780, Jardim Paraíso, 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil, fernandadrudi@gmail.com

² Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia, Rodovia MS-306 – km 6,4, 79540-000, Cassilândia, Mato Grosso do Sul, Brasil, murilo.martins@uem.br

³ Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista, rua: José Barbosa de Barros, 1780, Jardim Paraíso, 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil, joaovitorresta@outlook.com

⁴ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia, Rodovia PA-140, s/n, Açailza, 68682-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil, ramos.ufra@gmail.com

⁵ Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista, rua: José Barbosa de Barros, 1780, Jardim Paraíso, 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil, kp.lancas@unesp.br

RESUMO: A expansão das lavouras de cana-de-açúcar no Brasil é um dos fatores que mais favorece a utilização e, principalmente, o desenvolvimento do sistema de colheita mecanizada. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho energético de colhedoras de cana-de-açúcar, através da repetitividade de ensaios com colhedoras de cana-de-açúcar realizados pelo Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (Nempa), utilizando metodologia de diferentes autores. As colheitas ocorreram em canaviais com diversas produtividades agrícolas e em diferentes localidades do país e exterior. Foram avaliados a capacidade de colheita efetiva, o consumo de combustível ($L h^{-1}$ e $L t^{-1}$). Foram feitas avaliações com o dispositivo que controla a rotação do motor. Com o uso desse dispositivo, o consumo de combustível foi mais baixo para o consumo horário e por tonelada colhida. O consumo de combustível é influenciado pela produtividade da área e pela velocidade de trabalho da máquina. A metodologia utilizada no ensaio a campo de colhedoras de cana-de-açúcar, através dos dados obtidos pelo Nempa, apresentou resultados compatíveis entre si e com a bibliografia consultada, mostrando ser confiável em relação aos parâmetros de desempenho operacional da colhedora, tanto para colhedoras de uma linha como para de duas linhas.

Palavras-chaves: capacidade efetiva, colheita mecanizada, consumo de combustível, mecanização agrícola, *saccharium* spp

ENERGY PERFORMANCE OF SUGARCANE HARVESTERS IN SEVERAL AGRICULTURAL PRODUCTIVITIES AND FORWARD SPEED

ABSTRACT: The expansion of sugarcane plantations in Brazil is one of the factors that most favors the use and, especially, the development of the mechanized harvesting system. The aim of this study was to evaluate the energy performance of sugarcane harvesters, based on the methodology used by the Nucleus of Agroforestry Machines and Tires (Nempa) of the College of Agricultural Sciences (FCA), Unesp, Campus of Botucatu, Sao Paulo, Brazil. The sugarcane harvests occurred in fields without prior burning with different agricultural yields and in different Brazil and abroad location. It was evaluated the crop effective capacity, fuel consumption ($L h^{-1}$ and $L t^{-1}$). For these evaluations, flow meters were installed in the harvester fuel supply system as well as an electronic device was used for data acquisition. Evaluations were carried out with a engine device speed control. According to this device the fuel consumption was lower for the hourly consumption and per harvested tonne. The fuel consumption is influenced by the area productivity and by the machine work speed. The methodology used in the sugar cane field trial, through the data obtained by Nempa, shown compatible results between themselves and with literature, shown be reliable in relation to the parameters of operational performance of sugarcane harvester, for a line or two.

Keywords: effective capacity, mechanical harvesting, fuel consumption, agricultural mechanization, *saccharium spp*

1 INTRODUÇÃO

Desde o período colonial, a cana-de-açúcar é produzida no Brasil. No início, todas as etapas eram realizadas de forma manual por trabalhadores e com os implementos sendo tracionados por animais.

O sistema mecanizado para a operação de colheita teve origem na Austrália, nos anos 50, chegando aos canaviais brasileiros em meados dos anos 70, porém, foi no começo dos anos 2000 que a colheita mecanizada no Brasil passou a predominar nos canaviais. Isso foi devido a alguns fatores, como a lei ambiental de 2012, que proíbe a queima em canaviais, a mão de obra, que foi ficando escassa para esse tipo de serviço e as máquinas, que passaram a apresentar melhor rendimento. Com isso, o sistema mecanizado foi prevalecendo, chegando ao ano de 2016 com 95% da colheita realizada por colhedoras em todo o país (NEVES et al., 2015).

De acordo com Costa Neto (2006), a colheita mecanizada nos canaviais é inevitável, pois a colhedora tem um rendimento de, aproximadamente, 800 toneladas colhidas por dia trabalhando diariamente 20 horas quando comparado com o desempenho manual que são de 7 toneladas por dia. Além do que uma colhedora equivale a 100 trabalhadores. O autor afirma que programas de qualificação profissional são necessários para esses operadores.

O mercado atual de colhedoras de cana-de-açúcar está cada vez mais aprimorando as colhedoras com tecnologia de ponta para simplificar e facilitar a operação para os operadores, além de fornecer dados que permitem um melhor gerenciamento da operação no campo resultando em ganhos com capacidade operacional, redução de combustível e melhor qualidade do material colhido (RAMOS et al., 2016).

O desempenho das colhedoras é influenciado pela produtividade agrícola, o porte do canavial e o espaçamento entre fileiras

de plantio, junto a outras características da área a ser colhida (BELARDO; RIPOLI, 2015).

O consumo de combustível das colhedoras é um dos fatores importantes para se calcular o custo operacional do sistema de colheita mecanizada e constitui um indicativo da eficiência do processo de conversão de energia do sistema utilizado na colheita, medidos através de equipamentos especializados em mensurações de fluxos (RIPOLI; RIPOLI, 2009). Ainda para esses autores, na colheita mecanizada, o combustível é um dos maiores custos na produção, devido ao alto consumo de combustível de algumas colhedoras, chegando a 60 litros por hora. Esse alto consumo está associado à falta de manutenção, às condições inadequadas do canavial no momento da colheita e até menos à falta de conhecimento e prática dos operadores com a máquina.

A literatura tem mostrado que ensaios com colhedoras de cana-de-açúcar são realizados de formas não padronizadas, utilizando diferentes metodologias, tornando difícil a associação de trabalhos ou discussões com embasamento científico entre os profissionais da área. No âmbito da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e de entidades de normatização de outros países, ainda não existem normas para ensaios com colhedoras de cana-de-açúcar.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho energético de colhedoras de cana-de-açúcar através da repetitividade de ensaios com colhedoras de cana-de-açúcar realizados pelo Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (Nempa), utilizando metodologia de diferentes autores.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho consistiu na análise de 14 relatórios de campo do Nempa, desde 2012 até 2017. As colhedoras de cana-de-açúcar

avaliadas eram de diferentes marcas e modelos, sendo para a colheita de uma e duas fileiras de plantio. As colheitas ocorreram em canaviais sem queima prévia, com diversas produtividades agrícolas e em diferentes localidades do país e no exterior.

As áreas colhidas foram avaliadas e separadas por faixas de produtividade, sendo: muito baixa (<50 t ha⁻¹), baixa (51 a 70 t ha⁻¹), média (71 a 90 t ha⁻¹), alta (91 a 110 t ha⁻¹) e muito alta (>110 t ha⁻¹), de acordo com o Índice de Colheitabilidade (IC) desenvolvido por Ramos (2016).

As velocidades médias de deslocamento das colhedoras avaliadas também foram classificadas por faixas, sendo: velocidade baixa (< 3 km h⁻¹), velocidade média (3 a 5 km h⁻¹) e velocidade alta (> 5 km h⁻¹).

Para a avaliação do desempenho energético das colhedoras, foram levados em conta a capacidade de colheita efetiva e o consumo de combustível por hora e por tonelada colhida. Em ambas as avaliações, foram considerados apenas os valores obtidos durante a colheita efetiva, isto é, não contabilizando manobras e paradas de quaisquer tipos. Foram realizadas 3 repetições de 200 metros de comprimento de fileira.

A capacidade de colheita efetiva é a relação entre a quantidade colhida de cana-de-açúcar e o tempo efetivo da operação, sendo estimada através da Equação 1.

$$C_e = \frac{Atr}{t} \times 3,6 \quad (1)$$

Em que C_e é a capacidade efetiva de cana-de-açúcar colhida (t h⁻¹), Atr é a área útil da parcela trabalhada (m²), t é o tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s) e 3,6 é o fator de conversão.

Para obter os dados de consumo de combustível foram utilizados medidores de fluxo (fluxômetro) da marca Oval, modelo LSF45, com capacidade máxima de leitura de 500 L h⁻¹. Foram instaladas duas unidades na colhedora: uma unidade no sistema de alimentação do combustível entre o tanque e o motor e a outra unidade no retorno do

combustível para o tanque. Os valores de foram registrados por um equipamento de aquisição de dados que marcava uma unidade de pulso a cada 10 mL de combustível que passavam pelo interior do fluxômetro, permitindo calcular o consumo da colhedora pela diferença de combustível que entrava no motor e o que retornava ao tanque, de acordo com metodologia de Monteiro (2008) e adotada em todos os ensaios do NEMPA.

O consumo horário efetivo de combustível foi obtido através do cálculo pela Equação 2:

$$C_{ch} = \frac{\Sigma(pe-ps)}{t} \times 3,6 \quad (2)$$

Em que C_{ch} é o consumo horário de combustível (L h⁻¹), $\Sigma(pe-ps)$ é a diferença entre as somatórias de pulsos de entrada e de retorno do motor, t é o tempo gasto (s) e 3,6 é o fator de conversão.

O consumo de combustível por tonelada colhida foi calculado por meio da relação entre a quantidade de combustível consumido pela colhedora e a quantidade de cana-de-açúcar colhida (Equação 3).

$$C_t = \frac{C_{ch}}{C_e} \quad (3)$$

Em que C_t é o consumo de combustível por tonelada colhida (L t⁻¹), C_{ch} é o consumo horário de combustível (L h⁻¹) e C_e é a capacidade de colheita efetiva (t h⁻¹).

Foram feitas avaliações com o dispositivo automático responsável pelo controle da rotação do motor ligado e desligado, denominada de rotação do motor reduzida, e a rotação nominal foi a denominação utilizada para as colhedoras avaliadas que não possuíam esse mecanismo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A capacidade de colheita varia conforme a produtividade do canavial e a

velocidade de deslocamento da máquina (Martins et al. (2017).

Neste trabalho, os valores médios para a capacidade de colheita efetiva variaram de 0,6 a 1,1 t h⁻¹, tanto para as colhedoras que colheram uma fileira de plantio, como para colhedoras que colheram duas fileiras de plantio (Tabela 1). Quando as colhedoras de uma linha trabalharam em velocidade de deslocamento alta, em áreas de produtividades baixa e média, e as colhedoras de duas linhas colheram em velocidade de deslocamento média, nas mesmas faixas de produtividade agrícola que as colhedoras de uma linha, ambas obtiveram valores iguais de 1,1 ha h⁻¹ e foram capazes de colher maior quantidade de cana-de-açúcar por hora, quando comparadas às demais condições de avaliação.

De acordo com Mathanker et al. (2015), a capacidade de colheita da colhedora está relacionada diretamente com a produtividade da área avaliada. Ao avaliar a capacidade de colheita, os autores observaram que houve variação da mesma quando avaliada em diferentes produtividades agrícolas com uma única velocidade de deslocamento. Isto comprova os resultados obtidos neste trabalho com as alterações nos valores de capacidade de colheita efetiva com a mudança nas áreas com diferentes produtividades agrícola.

Os resultados deste trabalho foram inferiores aos resultados de Martins et al. (2017), que avaliaram uma colhedora de cana-de-açúcar na velocidade de 5 km h⁻¹ em área com produtividade média de 90 t ha⁻¹ resultando em uma capacidade de colheita efetiva de 0,73 ha h⁻¹.

Tabela 1. Valores médio para capacidade de colheita efetiva (ha h⁻¹)

Produtividade agrícola (t ha ⁻¹)	Colhedora de 1 linha		Colhedora de 2 linhas	
	Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹)			
	Média	Alta	Baixa	Média
Muito baixa	-	1,0	-	-
Baixa	0,7	1,1	-	1,1
Média	0,7	1,1	0,6	1,1
Alta	0,6	1,0	0,8	0,9
Muito Alta	-	0,6	0,8	-

Os resultados encontrados por Testa et al. (2016), para capacidade de colheita efetiva, foram superiores (0,78 e 1,06 ha h⁻¹) quando avaliaram uma colhedora multilinhas de cana-de-açúcar nas velocidades 2,5 e 3,5 km h⁻¹ em um canavial de 83,5 t ha⁻¹.

O consumo de combustível foi avaliado na rotação do motor na função reduzida (dispositivo que relaciona a intensidade da

rotação do motor ao peso da cana que está sendo colhida pela máquina) e na função nominal (Tabela 2). Quando o motor da colhedora trabalha na faixa de rotação que concede maior potência e menor consumo horário de combustível, a operação está bem dimensionada, tendo pouca interferência e não afetando o desempenho da máquina (VOLTARELLI, 2015).

Tabela 2. Valores médios para consumo horário de combustível (L h⁻¹)

Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹)	Colhedora de 1 linha		Colhedora de 2 linhas	
	Rotação do motor			
	Reduzida	Nominal	Reduzida	Nominal
Baixa	47,7	55,8	54,2	63,5
Média	48,2	50,4	57,2	61,8
Alta	52,1	54,8	-	-

Ao comparar os dois sistemas de rotação do motor em ambos os tipos de

colhedoras, observa-se que na rotação reduzida do motor o consumo horário foi menor,

presumindo que o dimensionamento da colhedora estava de acordo com a área a ser colhida.

Trabalhos como o de Ramos et al. (2016), de Testa et al. (2016) e de Martins et al. (2017) evidenciam que o consumo horário de combustível aumenta conforme a velocidade de deslocamento da colhedora aumenta. Neste trabalho, tanto para colhedoras de 1 linha quanto para colhedoras de 2 linhas, quando estas estavam trabalhando com a configuração nominal do motor, o resultado não foi similar aos dos autores citados, houve variação no consumo, mostrando que na velocidade baixa (menor que 3 km h⁻¹), o consumo foi maior, podendo ser justificado pela avaliação ter sido feita em área de produtividade agrícola muito alta (acima de 110 t ha⁻¹), forçando o motor da colhedora.

Avaliando o desempenho energético de colhedoras de cana-de-açúcar de uma e duas linhas da cultura, Testa et al. (2016) obtiveram valores de consumo horário de combustível inferiores ao deste trabalho.

Ramos et al. (2016) avaliaram o consumo de combustível de uma colhedora de

cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor em uma área de produtividade média de 94 t ha⁻¹. Comparando às mesmas condições deste trabalho, os autores obtiveram valores de consumo horário de combustível superiores, com 59,8 L h⁻¹ na velocidade de 4 km h⁻¹ e 68,4 L h⁻¹ na velocidade de 5,5 km h⁻¹ aos consumos alcançados.

A avaliação do consumo de combustível por tonelada se faz importante por relacionar o consumo de combustível com a quantidade de cana-de-açúcar colhida e entregue na usina durante a colheita efetiva. O consumo de combustível foi maior quando a rotação do motor estava na configuração nominal para ambos os tipos de colhedoras avaliadas. Nesta avaliação, ocorreu o inverso quando comparado ao consumo horário de combustível na rotação reduzida do motor. Com o aumento da velocidade de deslocamento, o consumo por tonelada colhida diminuiu nos dois tipos de rotação do motor e nos dois modelos de colhedoras avaliados (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios para o consumo de combustível por tonelada colhida (L t⁻¹)

Velocidade de deslocamento (km h ⁻¹)	Colhedora de 1 linha		Colhedora de 2 linhas	
	Rotação do motor			
	Red*	Nom*	Red	Nom
Baixa	0,99	1,14	0,98	1,20
Média	0,85	0,96	0,92	0,76
Alta	0,77	0,88	-	-

Red: Reduzida. Nom: Nominal

Esses valores são inferiores aos encontrados por Ramos et al. (2016), que obtiveram valor de 1,10 L t⁻¹ com velocidade de 4,0 km h⁻¹, porém quando comparado ao trabalho de Belardo (2016), os valores foram superiores, pois no trabalho do autor, os valores de consumo de combustível ficaram entre 0,72 e 0,83 L h⁻¹ com velocidade de 3 a 4 km h⁻¹ em áreas de 88 a 131 t ha⁻¹.

Giachini et al. (2016), estudando a colheita mecanizada na cultura da cana-de-açúcar em dois turnos de trabalhos diferentes alcançaram valores médios de 0,52 L t⁻¹ no turno das 08h01 às 16h00 e 0,54 L t⁻¹ no turno

das 00h01 às 08h00, ambos avaliados em uma área com produtividade média de 100 t ha⁻¹ com o porte caracterizado como ereto. Os autores concluíram que o baixo consumo está relacionado às boas condições de colheita no momento das avaliações.

4 CONCLUSÕES

Nas avaliações que foi utilizado o dispositivo que controla a rotação do motor, o

consumo de combustível diminuiu em comparação ao dispositivo desligado.

O consumo de combustível é influenciado pela produtividade da área e pela velocidade de deslocamento da colhedora.

A metodologia de ensaios a campo de colhedoras de cana-de-açúcar, utilizada pelo

Nempa, através da repetitividade, apresentou resultados compatíveis entre si e com a bibliografia consultada, mostrando ser confiável em relação aos parâmetros de desempenho operacional da colhedora tanto para colhedoras de uma linha como para a de duas linhas.

5 REFERÊNCIAS

- BELARDO, G. C. **Avaliação do desempenho de colhedoras multilinhas de cana-de-açúcar em três espaçamentos**. 2016. 198 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- BELARDO G. C.; RIPOLI T. C. C. Avaliação da colheita mecanizada – Desempenho de colhedoras de cana. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 357-362p.
- COSTA NETO, J. D. A cana em tempo bom. **Revista CREA-PR**, Curitiba, n.41, p.16-19, 2006.
- GIACHINI, C. F.; RAMOS, C. R. G.; LYRA, G. A.; GAMERO, C. A.; LANÇAS, K. P. Consumo de combustível e perdas de cana-de-açúcar durante a colheita diurna e noturna. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 1, p. 10-16, 2016.
- MARTINS, M. B.; LANÇAS, K. P.; SARTORI, M. M. P.; TESTA, J. V. P. Consumo de combustível da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.32, n.2, p. 115-119, 2017.
- MATHANKER, S. K.; GAN, H.; BUSS, J. C.; LAWSON, B.; HANSEN, A.C.; TING, K. C. Power requirements and field performance in harvesting energycane and sugarcane. **Biomass and Bioenergy**, v.75, p.227-234, 2015.
- MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo**. 2008. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- NEVES J. L. M. Avaliação da colheita mecanizada – Avaliação de perdas quantitativas na colheita decana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015, cap. 16.2, p. 367-374.
- RAMOS, C. R. G. **Metodologia para determinação do índice de colheitabilidade para avaliar a colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2016. 119 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; SANDI, J. Fuel consumption of a sugarcane harvester in different operational settings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.20, n.6, p.588-592, 2016.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** Piracicaba: Edição dos autores. 2009. 333p.

TESTA, J. V. P., LANÇAS, K. P.; MARTINS, M. B.; SANDI, J.; DRUDI, F. S. Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 3, p. 253-258, 2016.

VOLTARELLI, M. A. **Ferramentas da qualidade na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.** 2015. 151 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.