

COMPARATIVO DA QUALIDADE OPERACIONAL DE COLHEITA ENTRE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE UMA E DUAS LINHAS

ANDRÉ CAMPOS MELO¹, DANILO POMPERMAIER DE MELO², GUILHERME MARTIMBIANCO BERNARDES³, MICHEL DE MOURA SANTOS⁴, KLEBER PEREIRA LANÇAS⁵

¹ Eng. Agrônomo, Doutorando em Eng. Agrícola, FCA/UNESP, Botucatu-SP, ac.melo@unesp.br

² Eng. Agrônomo, Mestrando em Eng. Agrícola, FCA/UNESP, Botucatu-SP,

³ Graduando em Eng. Agrônômica, FCA/UNESP, Botucatu-SP

⁴ Eng. Mecânico, Doutorando em Eng. Agrícola, FCA/UNESP, Botucatu-SP,

⁵ Prof. Dr., Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Botucatu/SP, kp.lancas@unesp.br

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: Na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, fatores como a qualidade do corte e a quantidade de perdas operacionais deixadas no campo, são oportunidades para melhorar os resultados financeiro e produtivo do canavial. Um corte da cana-de-açúcar preciso e limpo é essencial para preservar a qualidade e a longevidade do canavial e reduzir as perdas de açúcar da planta. A velocidade de operação da colhedora é um fator importante e deve ser controlada para evitar danos excessivos às plantas e perdas de matéria-prima. Esse trabalho teve como objetivo avaliar colhedoras de uma e duas linhas com quatro variações de velocidades, sendo coletados dados de perdas quantitativas e avaliadas a qualidade da colheita de ambas as colhedoras. A colhedora de duas linhas apresentou menores perdas em velocidades maiores e melhor qualidade de corte em relação a colhedora de linha simples.

PALAVRAS-CHAVE: Perdas quantitativas, velocidade de colheita, qualidade de corte

COMPARISON OF HARVESTING QUALITY BETWEEN SINGLE-ROW AND DOUBLE-ROW SUGARCANE HARVESTERS

ABSTRACT: In mechanized sugarcane harvesting, factors such as cutting quality and the quantity of operational losses left in the fields are opportunities for financial and productive outcomes of the sugarcane plantation. Accurate and clean cutting is essential to preserve the quality and longevity of the sugarcane and reduce plant sugar losses. The operating speed of the harvester should be controlled to avoid excessive damage to the plants and material losses. The objective of this study was to evaluate single-line and double-line harvesters with four variations of speeds. Quantitative loss data was collected, and quality evaluations were conducted for both harvesters. Double-line harvester showed lower losses at higher speeds and better cutting quality compared to single-line.

KEYWORDS: Quantitative losses, harvesting speed, cutting quality

INTRODUÇÃO: A qualidade da colheita mecanizada é um aspecto crucial na indústria sucroalcooleira, pois afeta diretamente tanto as perdas quantitativas quanto a qualidade de corte

da matéria-prima (Smith et al., 2018). É fundamental minimizar as perdas quantitativas para otimizar a eficiência operacional e maximizar a produtividade (Jones & Silva, 2019). Além disso, a qualidade de corte desempenha um papel significativo na preservação da integridade e da qualidade da cana-de-açúcar colhida, garantindo que o produto seja de alta qualidade (Garcia et al., 2020). De acordo com Moura (2019), a minimização das perdas quantitativas é fundamental para a maximização da produtividade e para evitar desperdícios de matéria-prima. Além disso, TOLEDO (2012) destacam que a eficiência na colheita mecanizada está diretamente relacionada à redução das perdas quantitativas durante o processo. A qualidade de corte também desempenha um papel importante na colheita mecanizada. Um corte preciso e limpo é fundamental para minimizar a degradação da cana-de-açúcar e preservar a integridade da matéria-prima e da soqueira, possibilitando uma longevidade maior do canavial (Moura, 2019). Segundo Smith et al. (2018), a implantação de novas tecnologias tem desempenhado um papel significativo na evolução da colheita mecanizada. Novas máquinas e equipamentos têm sido desenvolvidos para aprimorar a eficiência e a precisão do processo de colheita, resultando em uma maior qualidade da matéria-prima obtida. Sensores avançados, sistemas de controle automatizados e algoritmos inteligentes têm permitido ajustes em tempo real para melhorar o desempenho geral da colheita (Jones & Silva, 2019). Um aspecto relevante enfatizado por Garcia et al. (2020) é a importância da capacitação dos operadores dessas máquinas. Treinamentos adequados são essenciais para que os profissionais compreendam as particularidades do processo de colheita, saibam utilizar corretamente os equipamentos e possam identificar problemas potenciais que afetam a qualidade da colheita. Além disso, de acordo com Jones & Silva (2019), práticas de manutenção preventiva são avanços que podem garantir o bom funcionamento das máquinas, evitando paradas não programadas que prejudicam a produtividade e podem aumentar as perdas durante o processo de colheita. Um aspecto importante a ser destacado, conforme apontado por Garcia et al. (2020), é a necessidade de uma gestão sustentável da colheita mecanizada. A indústria sucroalcooleira tem se esforçado para adotar práticas ambientalmente responsáveis, visando a redução do impacto no ecossistema e o uso eficiente dos recursos naturais. A colheita mecanizada pode contribuir para esse objetivo ao reduzir o consumo de combustíveis fósseis e minimizar o desperdício de matéria-prima. Ademais, a pesquisa contínua é fundamental para o aprimoramento contínuo da colheita mecanizada. Investir em estudos e desenvolvimento de novas tecnologias é essencial para enfrentar os desafios que surgem ao longo do tempo, bem como para adaptar as práticas às particularidades de diferentes regiões e condições climáticas (Smith et al., 2018). Em resumo, a qualidade da colheita mecanizada na indústria sucroalcooleira é um fator-chave para a maximização da produtividade e a garantia de um produto final de alta qualidade. A redução das perdas quantitativas e a adoção de técnicas de corte precisas são elementos centrais nesse processo. A combinação de tecnologia avançada, capacitação dos operadores e práticas sustentáveis contribui para o sucesso e o crescimento sustentável do setor sucroalcooleiro.

MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento teve como objetivo comparar a qualidade operacional de duas colhedoras de cana-de-açúcar, com uma e duas linhas de corte. Os ensaios foram realizados em área experimental de aproximadamente 20 hectares, com uma declividade média de 4,8%, sendo considerada apta para a colheita mecanizada. A variedade colhida de forma mecanizada foi a SP 801842, com porte ereto, no quarto corte, plantada em espaçamento de 1,5 m entre linhas apresentando produtividade média total da área de 75 toneladas por hectare. As duas colhedoras de cana-de-açúcar utilizadas foram: M1 (colhedora de uma linhas) e M2 (colhedora de uma linha). Os ensaios foram realizados com as velocidades de 4 km/h (V1), 5 km/h (V2), 6 km/h

(V3) e 7 km/h(V4) sendo conduzido no delineamento de blocos casualizado com 3 repetições, resultando em 24 unidades experimentais.

A metodologia utilizada para mensuração das perdas foi baseada na proposta do CTC (Centro de Tecnologia Canavieira). Após a colheita fez-se uma catação dos restos de cana-de-açúcar no solo, de forma manual em 10 m², com comprimento de 3,30 metros de largura e 3,0 m de comprimento, contemplando duas linhas da cultura (Figura 1).

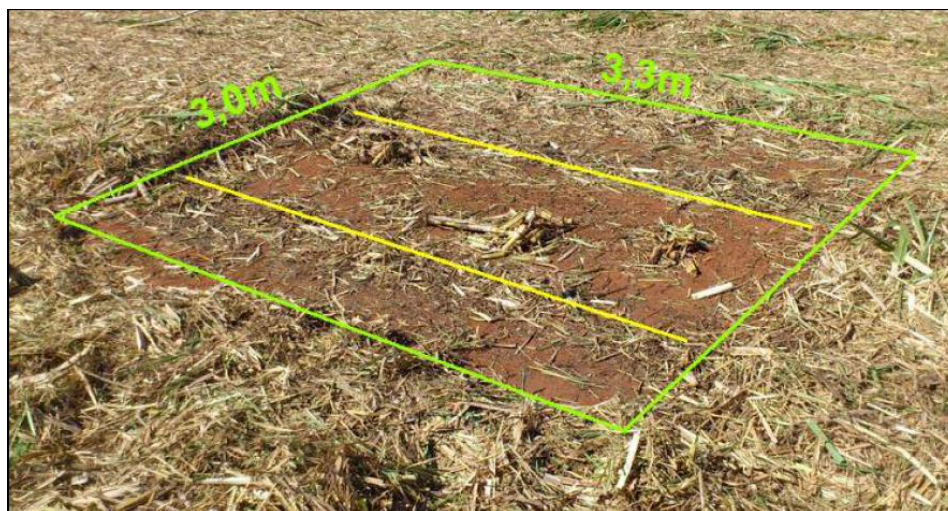


FIGURA 1. Quadro de 3,3 x 3,0 m demarcado no solo para catação dos restos da colheita

As perdas foram classificadas em três níveis, sendo eles: nível de perdas baixo, nível de perdas médio e nível de perdas alto (Tabela 1).

TABELA 1. Classificação das perdas de matéria-prima

Nível de Perda	Percentual de Perda
Baixo	<2,5%
Médio	2,5% - 4,5%
Alto	>4,5%

Foram classificados e pesados os seguintes componentes das perdas da colheita:

- Tocos: pedaços presos à soqueira da acima de 8 cm e menores que 15 cm;
- Ponta: Pedaço de cana agregado ao ponteiro;
- Cana inteira: são pedaços de cana igual ou maior que 2/3 do tamanho original da cana-de-açúcar;
- Tolete: pedaços de cana cortada pelo facão do picador;
- Lascas: fragmentos dilacerados de matéria-prima;
- Pedacos: Todo outro tipo de fragmento que não se encaixa nos parâmetros citados.

As amostras coletadas foram pesadas com uma balança portátil com capacidade de 25 kg e precisão de 5 gramas.

A levantamento dos danos foi realizado após o corte, sendo que os tocos avaliados foram classificados como sem danos (SD), com danos parciais (PD) ou danos extremos (ED) (Figura 2), onde cada classificação representou um peso de acordo com o índice da equação 1.

Classificação	Limite inferior	Limite superior
Sem danos (SD)		
Danos parciais (DP)		
Danos Extremos (ED)		

FIGURA 2. Metodologia de classificação de dano à soqueira

O índice de danos representa as classificações atribuídas às soqueiras em um único valor e foi calculado pela média aritmética entre os pesos obtidos em balança de cada classe da avaliação e a quantidade de colmos avaliados.

$$iD = \frac{p_{sd} \cdot n_{sd} + p_{dp} \cdot n_{dp} + p_{ed} \cdot n_{ed}}{n} \quad (1)$$

Onde:

iD = Índice de Danos

p_{sd} = Peso de soqueira sem danos

n_{sd} = Número de soqueira sem danos

p_{dp} = Peso de soqueira dano parcial

n_{dp} = número de soqueira dano parcial

p_{ed} = peso de soqueira dano extremo

n_{ed} = número de soqueira dano extremo

Quanto mais próximo o índice estiver de 0,00, melhor foi o corte realizado e, quanto mais próximo de 1,00, maior a quantidade de danos encontrados nos tocos. Os dados foram aplicados à análise de variância e, em caso de significância, as médias foram analisadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para fatores qualitativos. A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o sistema SISVAR. Os dados referentes às avaliações de qualidade da colheita foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas utilizando o teste de Scott Knott a um nível de significância de 5%. Essa abordagem estatística permite verificar se existem diferenças significativas entre os tratamentos avaliados e identificar quais tratamentos apresentam médias estatisticamente diferentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A Tabela 2 apresenta os resultados analisados pelo método de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para as análises de perdas quantitativas o fator velocidade não teve diferença a 5% e para o fator máquinas também não houve diferença a 1%; porém, apresentou diferença na interação entre máquinas e velocidades. As análises demonstram a melhor qualidade de colheita da colhedora M1 em velocidades maiores apresentando médias abaixo de 2,5 %. Já a colhedora M2 apresenta melhor desempenho nas velocidades de 5 km h⁻¹ e 6 km h⁻¹ apresentando média abaixo de 2,5%. Ao comparar as duas colhedoras a colhedora M1 apresentou menores perdas médias ao se considerar todas as velocidades.

Para as análises de qualidade de corte (Tabela 3) a velocidade de deslocamento apresentou diferença a 5% e 1% para o tipo de máquina e não houve diferença entre interação máquinas e velocidades. Considerando as velocidades de colheita ambas as colhedoras apresentaram na velocidade de 5 km h⁻¹ o melhor desempenho de corte seguido das velocidades 5 km h⁻¹ e 6 km

h⁻¹ com valores aproximados. Ao comparar as colhedoras M1 e M2 a colhedora de duas linhas apresentou melhor qualidade de colheita.

TABELA 2. Síntese dos valores de análise de variância e do teste de médias para as variáveis de perdas quantitativas.

Velocidade (km h ⁻¹)	Perdas Qualitativas (%)	
	M1	M2
4	2,8 Ba	2,9 Ba
5	2,5 Ab	1,3 Aa
6	2,0 Aa	1,8 ABa
7	1,4 Aa	2,8 Ba
V		0,16 ^{NS}
M		0,79 ^{NS}
VxM		0,02*
C.V. (%)		24,18

^{NS}: não significativo (P>0,05); *: significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

TABELA 3. Síntese dos valores de análise de variância e do teste de médias para as variáveis de qualidade de corte.

Fator	Qualidade de Corte
V	0,04*
M	0,00**
MxP	0,94 ^{NS}
C.V. (%)	27,57

Velocidade (km h ⁻¹)	Médias
4	0.40 A
5	0.65 B
6	0.60 AB
7	0.49 AB

Máquinas	Médias
M1	0.22 A
M2	0.85 B

^{NS}: não significativo (P>0,05); *: significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

CONCLUSÕES: A colhedora de duas linhas apresentou menores perdas operacionais em velocidades maiores e a de uma linha em velocidades intermediárias. A qualidade de corte da colhedora de duas linhas foi superior a qualidade de corte da colhedora uma linha.

REFERÊNCIAS:

- Araújo, V. H., et al. (2022). Technological Innovations in Sugarcane Harvesting Machinery: A Case Study of Industry Adoption. *Journal of Agro-Industry Technology*, 46(1), 75-89.
- Costa, R. S., & Pereira, L. M. (2020). Sustainable Practices in Mechanized Sugarcane Harvesting: Environmental and Economic Impact. *Environmental Management in Agriculture*, 37(4), 421-434.
- Garcia, L. F., et al. (2020). Enhancing Sugarcane Harvesting Quality through Precise Cutting Techniques. *Journal of Crop Science*, 48(3), 211-224.
- Jones, R. A., & Silva, M. B. (2019). Quantitative Losses in Mechanized Sugarcane Harvesting. *Sugar Technology*, 21(4), 356-367.
- Lima, J. C., et al. (2019). Assessment of Energy Consumption in Mechanized Sugarcane Harvesting. *Energy Efficiency in Agriculture*, 22(4), 321-335.
- MOURA, Michel dos Santos. Dispositivo elétrico-mecânico para avaliar o desempenho energético do corte basal para a colheita de cana-de-açúcar. Botucatu-SP: Dissertação de Mestrado, Unesp, 2019. 57p
- Moura, P. C. (2019). Best Practices for Quantitative Loss Reduction in Mechanized Advanced Technologies for Precision Cutting in Sugarcane Harvesting: A Review. *Renewable Energy in Agriculture and Agro-Industry*, 28(3), 245-258.
- Rodrigues, M. A., et al. (2021). Impact of Mechanized Harvesting on Soil Compaction in Sugarcane Fields. *Soil and Crop Management*, 33(2), 189-202.
- Santos, A. B., et al. (2021). Improving Sugarcane Harvesting Efficiency: A Comparative Study of Mechanized and Manual Methods. *Agricultural Engineering Research*, 39(2), 165-178.
- Silva, T. A., et al. (2018). Influence of Machine Settings on Sugarcane Stalk Damage during Harvesting. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(3), 256-268.
- Smith, J., et al. (2018). Impact of Mechanized Harvesting on Sugarcane Industry: A Case Study. *Journal of Agricultural Engineering*, 35(2), 145-156.
- Souza, C. L., et al. (2019). Optimization of Harvesting Parameters to Reduce Sugarcane Losses During Mechanical Harvesting. *Agricultural Mechanization in the Tropics*, 24(1), 58-71.
- Sugarcane Harvesting. *Brazilian Journal of Agricultural Engineering*, 27(1), 87-95.
- TOLEDO, A. Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Jaboticabal, SP: Tese de doutorado, Unesp, 2012. 100 f.