

ANDRÉ CAMPOS MELO

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE
UMA E DUAS LINHAS, COM ESPAÇAMENTO SIMPLES.**

Botucatu

2023

ANDRÉ CAMPOS MELO

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE
UMA E DUAS LINHAS, COM ESPAÇAMENTO SIMPLES.**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador(a): Kleber Pereira Lanças

Botucatu

2023

M528a Melo, Andre Campos
Avaliação comparativa enter colhedoras de cana-de-açúcar de uma e duas linhas, com espaçamento simples. / Andre Campos Melo. -- Botucatu, 2023
68 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Kleber Pereira Lanças

1. Colhedoras de cana-de-açúcar. 2. Eficiência Energética. 3. Qualidade de colheita. 4. Colheita de uma e duas linhas.. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Impacto potencial desta pesquisa

A indústria sucroalcooleira tem visto avanços significativos com as pesquisas dedicadas ao aprimoramento das colhedoras de cana-de-açúcar, especialmente no que diz respeito ao consumo de combustível e à qualidade da colheita. O estudo intitulado "Comparação do Desempenho Operacional e Energético entre Colhedoras de Linha Simples e Linha Dupla de Cana-de-Açúcar" traz à luz os impactos dessa pesquisa crucial. As colhedoras de cana-de-açúcar desempenham um papel fundamental na produtividade e eficiência dos campos de cultivo. A comparação entre colhedoras de linha simples e linha dupla tem sido um ponto focal de interesse, buscando determinar qual configuração oferece maior desempenho operacional e eficiência energética. Em termos de consumo de combustível, observou-se uma redução substancial quando comparadas às colhedoras de linha simples. Essa economia se traduz não apenas em custos operacionais mais baixos, mas também em benefícios ambientais, com menor emissão de gases de efeito estufa por tonelada colhida. A capacidade de colher duas linhas de cana-de-açúcar simultaneamente resulta em uma maior eficiência de tempo e mão de obra, contribuindo para uma colheita mais rápida e consistente. Isso não apenas aumenta a produtividade, mas também melhora a qualidade da matéria-prima destinada à produção de açúcar e etanol. Os dados obtidos neste estudo são essenciais para orientar a indústria sucroalcooleira na adoção de tecnologias mais eficientes e sustentáveis. A implementação de colhedoras de linha dupla pode representar um investimento significativo, porém os benefícios a longo prazo em termos de economia de da colheita justificam esse avanço tecnológico. Em resumo, a pesquisa comparativa entre colhedoras de linha simples e linha dupla de cana-de-açúcar destaca não apenas as diferenças operacionais e energéticas entre esses equipamentos, mas também ressalta o potencial impacto positivo que a adoção de tecnologias mais avançadas pode ter sobre a sustentabilidade e competitividade do setor sucroalcooleiro.

Potential Impact of this research

The sugarcane industry has experienced significant advancements through research focused on enhancing sugarcane harvesters, particularly regarding fuel consumption and harvest quality. The study titled "Comparison of Operational and Energy Performance between Single and Double Row Sugar Cane Harvesters" sheds light on the impacts of this crucial research. Sugarcane harvesters play a pivotal role in field productivity and efficiency. The comparison between single and double row harvesters has been a focal point of interest, seeking to determine which configuration offers greater operational performance and energy efficiency. There has been a substantial reduction observed in fuel consumption when comparing double row harvesters to single row ones. This reduction translates not only to lower operational costs but also environmental benefits, with reduced greenhouse gas emissions per ton harvested. The ability to harvest two rows of sugarcane simultaneously results in increased time and labor efficiency, contributing to a quicker and more consistent harvest. This not only enhances productivity but also improves the quality of raw materials destined for sugar and ethanol production. The data obtained in this study are essential for guiding the sugarcane industry toward adopting more efficient and sustainable technologies. The implementation of double row harvesters may require a significant investment; however, the long-term benefits in terms of fuel savings and harvest quality justify this technological advancement. In summary, the comparative research between single and double row sugarcane harvesters highlights not only the operational and energy differences between these equipment types but also underscores the potential positive impact that adopting more advanced technologies can have on the sustainability and competitiveness of the sugarcane industry.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE COLHEADORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE UMA LINHA E DE DUAS LINHAS, COM ESPAÇAMENTO SIMPLES

AUTOR: ANDRÉ CAMPOS MELO

ORIENTADOR: KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

Pesquisador Dr. JOÃO VITOR PAULO TESTA (Participação Presencial)
Especialista de Produto Global para colhedoras de cana-de-açúcar / Case IH / CNH Industrial

Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

Botucatu, 02 de agosto de 2023

Aos meus pais Eliseu e Marisa,
a minha irmã Beatriz
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço por esta vitória alcançada, pois sei que foi tua mão que me guiou em todo momento

Aos meus pais Eliseu e Marisa. É difícil escrever o quanto sou grato a vocês, todas as oportunidades, escolhas e fases da minha vida vocês estavam e estão presentes me orientando, me escutando e até viajando mais de 1000 km para me ajudar quando estava longe. Agradeço pelos aprendizados diários, por toda a atenção que dão em cada detalhe da minha vida e por serem meu pilar de apoio em todos os momentos, muito obrigado.

A minha irmã Beatriz, que me motiva a ser melhor a cada dia, sua dedicação em tudo que você faz sempre será um exemplo para mim.

Ao meu mentor Prof. Dr. Kleber Pereira Lanças, agradeço o apoio e orientação desde a época da graduação, pelas inúmeras conversas enquanto estava no mercado de trabalho e pela oportunidade de voltar para a FCA como aluno de pós-graduação. Muito obrigado por todos os ensinamentos e exemplos que ao longo desses anos, foram determinantes para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos colegas do NEMPA: Fellipe Damasceno, Michel Moura, Danilo de Melo, Miguel Pascucci, Gabriel Cassini. Muito obrigado pelo apoio e pelas trocas de ideias, sou afortunado por poder participar de um grupo tão extraordinário.

Aos amigos da República Santa Cerva, como diz o hino “EU SOU DA SANTA!”

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural pela atenção, amizade e serviços prestados.

Às secretárias da Seção de Pós-graduação da FCA-UNESP, Câmpus de Botucatu pela atenção e atendimento.

A todas as pessoas e instituições que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho

“Decida o que quer. Acredite que pode tê-lo. Acredite que o merece e acredite que é possível”.

BYRNE, RHODAJ: The Secret. Tradução de Fabiano Moraes. 1. ed. rev. e ampl. São Paulo: Editora Sextante, 2015. p. 216.

RESUMO

Os fabricantes de máquinas agrícolas com o objetivo de desenvolver seus equipamentos investem em pesquisas e novos projetos. Objetivos como a melhoria da qualidade operacional e desempenho de colheita aliados com menores consumos de combustível são indicadores desejados. Novos equipamentos e melhorias são entregues aos mercados todos os anos e os clientes finais têm a necessidade de saber quais são os impactos dessas mudanças. Desse modo torna-se essencial a realização de ensaios para avaliar a eficácia das colhedoras de cana-de-açúcar e identificar quais são os melhores parâmetros operacionais, a fim de garantir a máxima eficiência na colheita. Os ensaios realizados neste trabalho foram conduzidos em um canavial com a variedade SP 801842, em seu quarto corte, com espaçamento entre linhas de 1,5 m e produtividade agrícola estimada de 75 t ha⁻¹, caracterizando um plantio de porte ereto. As velocidades de deslocamento avaliadas foram 3 km h⁻¹, 4 km h⁻¹ e 5 km h⁻¹. Os parâmetros avaliados nos ensaios foram a eficiência operacional e energética, a qualidade de colheita e perdas visíveis de matéria prima em duas colhedoras de cana-de-açúcar sendo uma de uma e outra de duas linhas. Nas avaliações de eficiência energética a colhedora de duas linhas apresentou menor consumo específico e maior capacidade de campo em relação a colhedora de uma linha. As avaliações de perdas visíveis de matéria prima a colhedora de duas linhas demonstrou maior quantidade de perdas, um maior dano periférico aos rebolos e menor qualidade de corte que a colhedora de uma linha. Este estudo fornece ideias valiosos para fabricantes, agricultores e pesquisadores interessados em melhorar a eficiência das colheitadeiras de cana-de-açúcar. A compreensão das complexidades envolvidas na seleção e operação desses equipamentos é essencial para maximizar os benefícios econômicos e ambientais da colheita mecanizada de cana-de-açúcar

Palavras-chave: colheita de cana-de-açúcar; mecanização; eficiência energética; perdas qualitativas; redução de custos.

ABSTRACT

Manufacturers of agricultural machinery invest in research and new projects to develop their equipment. Objectives such as improving operational quality and harvest performance, along with lower fuel consumption, are desirable indicators. New equipment and improvements are delivered to the markets every year, and buyers need to know the impacts of these changes. Therefore, it is essential to conduct trials to evaluate the effectiveness of sugarcane harvesters and identify the best operational parameters to ensure maximum efficiency in harvest. The trials conducted in this study were carried out in a sugarcane field with the SP 801842 variety, in its fourth cycle, with row spacing of 1.5 m and an estimated agricultural productivity of 75 t ha⁻¹, characterizing an upright planting. The evaluated travel speeds were 3 km h⁻¹, 4 km h⁻¹, and 5 km h⁻¹. Operational and energy efficiency, harvest quality, and visible losses of raw material were evaluated in two sugarcane harvesters, one with one line and the other with two lines. In the evaluations of energy efficiency, the two-line harvester showed lower specific consumption and higher field capacity compared to the one-line harvester. In the evaluations of visible losses of raw material, the two-line harvester demonstrated a higher quantity of losses, greater peripheral damage to the stalks, and lower cutting quality than the one-line harvester. This study provides valuable insights for manufacturers, farmers, and researchers interested in improving the efficiency of sugarcane harvesters. Understanding the complexities involved in the selection and operation of these equipment's is essential to maximize the economic and environmental benefits of mechanized sugarcane harvesting.

Keywords: sugarcane harvesting; mechanization; energy efficiency; qualitative losses; cost reduction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Desenvolvimento Fenológico da cana-de-açúcar.....	31
Figura 2	- Distribuição da cana-de-açúcar no Brasil.....	32
Figura 3	- Colhedora de cana-de-açúcar de uma linha.....	35
Figura 4	- Colhedoras Autopropelidas de duas linhas.....	35
Figura 5	- Visão Geral da área.....	41
Figura 6	- Porte da cana-de-açúcar da área experimental.....	42
Figura 7	- Visão aérea da cana-de-açúcar da área experimental.....	42
Figura 8	- Colhedora M1.....	43
Figura 9	- Colhedora M2.....	44
Figura 10	- Dimensões da máquina M1.....	44
Figura 11	- Dimensões da máquina M2.....	44
Figura 12	- Sistema de corte de base M1, com dois divisores de linhas e duas canelas de corte de base.....	45
Figura 13	- Distribuição dos blocos e tratamentos.....	46
Figura 14	- GPS utilizado nos ensaios.....	47
Figura 15	- Fluxômetros utilizado nos ensaios.....	48
Figura 16	- Controlador Lógico Programável (CLP).....	49
Figura 17	- Área de coleta de perdas visíveis de matéria prima.....	51
Figura 18	- Metodologia de amostragem de abalo, arranquio e qualidade de corte.....	54
Figura 19	- Avaliação da qualidade de corte dos colmos da cana-de-açúcar.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Especificações das colhedoras utilizadas nos experimentos.....	43
Tabela 2	- Dimensões colhedora M1.....	44
Figura 3	- Dimensões colhedora M2.....	45
Tabela 3	- Tratamentos realizados.....	47
Tabela 5	- Classificação das perdas de matéria-prima.....	52
Tabela 6	- Classificação das perdas de matéria-prima.....	53
Tabela 7	- Média dos valores de velocidade.....	57
Tabela 8	- Média dos valores de Capacidade de campo efetiva.....	58
Tabela 9	- Média dos valores de consumo horário de combustível.....	59
Tabela 10	- Média dos valores de consumo de combustível por área.....	60
Tabela 11	- Média dos valores de consumo de combustível por tonelada.....	61
Tabela 12	- Média dos valores de perdas visíveis de matéria prima.....	62
Tabela 13	- Média dos valores de Danos periféricos causados à soqueira.....	63
Tabela 14	- Média dos valores de Qualidade de corte.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
IEA	Instituto de Economia Agrícola
CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
GramBio	Empresa de desenvolvimento de fertilizantes para cana-de-açúcar
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
NEMPA	Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais
UMEB	Unidade Móvel de Ensaio na Barra de Tração

LISTA DE SÍMBOLOS

kg ha ⁻¹	Quilograma por hectares
TCH	Toneladas de cana-de-açúcar por hectare
%	porcentagem
M1	Colhedora de uma linha
M2	Colhedora de duas linhas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	29
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	31
2.1	Cultura da Cana-de-açúcar no Brasil.	31
2.2	Colheita mecanizada da cana-de-açúcar.....	32
2.3	Desempenho operacional na colheita de cana-de-açúcar.....	36
2.4	Perdas quantitativas e qualitativas da matéria-prima colhida.....	39
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1	Área Experimental.....	41
3.2	Máquinas utilizadas.....	43
3.3	Tratamentos e critérios de amostragem.....	46
3.3.1	Eficiência Energética.....	46
3.3.2	Velocidade de deslocamento.....	47
3.3.3	Capacidade de campo efetiva.....	47
3.3.4	Consumo de combustível.....	48
3.3.5	Consumo horário de combustível	49
3.3.6	Consumo de combustível por área colhida	49
3.3.7	Consumo de combustível por tonelada colhida.....	50
3.3.8	Perdas Visíveis de matéria prima.....	50
3.3.9	Avaliação de abalo de soqueira.....	53
3.3.10	Avaliação de danos soqueira.....	54
3.4	Análise Estatística.....	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1	Eficiência Operacional e Energética.....	57
4.1.2	Velocidade de deslocamento.....	57
4.1.3	Capacidade de campo efetiva.....	57
4.1.4	Consumo de combustível por área colhida	58
4.1.5	Consumo de combustível por tonelada colhida.....	60
4.2	Perdas Visíveis de matéria prima.....	61
4.3	Danos periféricos causados à soqueira.....	62
4.4	Qualidade de corte.....	63
5	CONCLUSÕES.....	65
	REFERECIA.....	67

1 INTRODUÇÃO

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar é um marco importante na evolução no setor sucroalcooleiro, trazendo mudanças significativas nos aspectos históricos, econômicos, sociais e sustentáveis. Historicamente, o processo e colheita era realizada de forma manual, com o uso de força de trabalho humana, o que necessitava de grandes equipes para cortar e carregar a os caminhões. Esse processo comparado a colheita mecanizada era lento, ineficiente e exigia muitos trabalhadores. No entanto, a partir do século XX, com o desenvolvimento de máquinas e tecnologias agrícolas, a colheita mecanizada foi introduzida no setor sucroalcooleiro.

A cultura da cana-de-açúcar passou por revolução nas últimas quatro décadas, com inovações tecnológicas e desenvolvimento de novas práticas agrícolas. Novas metodologias de condução da cana-de-açúcar permitiram que a metodologia como a cultura é plantada, cultivada e colhida esteja em constante evolução o que resultou em ganhos expressivos em termos de eficiência e produtividade em campo.

A produtividade média da colheita manual era de 8 a 10 toneladas por dia colhidas por um trabalhador. Através da mecanização, a capacidade aumentou drasticamente, com média Brasil de 35 toneladas por hora, o que possibilitou uma colheita mais rápida e eficiente. Devido a eficiência de colheita e diminuição de mão-de-obra o ganho financeiro nos custos operacionais é perceptível.

Embora sejam incontestáveis os lucros obtidos, são visíveis os problemas de diminuição de produtividade de acordo com a Embrapa, em 2020, a área ocupada de cana de açúcar quase duplicou em relação à última década, porém o ganho em toneladas por hectare não teve o mesmo desempenho. A produtividade média Brasileira subiu de 74,4 toneladas por hectare em 2018 para 80,5 toneladas em 2022. Segundo a CONAB (2021), pode existir uma correlação entre esse baixo acréscimo de 21% com fatores como envelhecimento do canavial, falta de investimentos, limitação do uso de novas tecnologias e a utilização da colheita mecanizada de forma imprópria. Essa fraca evolução da produtividade média, embora outras operações influenciem, a colheita mecanizada tem relação direta. Parâmetros como pisoteio, retorno de colheita nos pós chuva, pouco treinamento de equipe afeta diretamente a execução da colheita, a qualidade da matéria prima e as perdas operacionais.

Ao analisar os principais indicadores de produtividade utilizados por usinas e produtores, é fundamental considerar parâmetros que visem a redução de custos, aumento da produtividade e longevidade do canavial. Na colheita mecanizada, destacam-se oportunidades como a redução do consumo de combustível, aumento da eficiência operacional e energética, diminuição das perdas em campo e melhoria da qualidade da colheita. Esses aspectos influenciam diretamente os resultados atuais e futuros das usinas e dos produtores, impactando os índices financeiros, produtivos e de planejamento agrícola

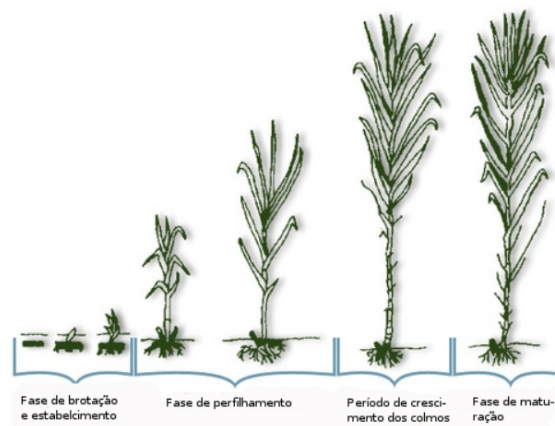
O objetivo desse trabalho foi avaliar esses o desempenho operacional, energético, a qualidade de colheita, e a quantidade de perdas de matéria prima de duas colhedoras de cana-de-açúcar sendo colhedora M1, que colhe uma linha, e a colhedora M2, que colhe duas linhas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da Cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar (*Scacharum spp.*), pertencente à família Poaceae, é uma gramínea de grande importância econômica e social nos sistemas de produção intensivo no Brasil seu ciclo fenológico é dividido em quatro fases (figura 1), sendo a primeira brotação e estabelecimento, a segunda fase de perfilhamento a terceira período de crescimento e por último a fase de maturação. Apresenta como centro de origem o sudeste asiático, sendo introduzida no Brasil na primeira década do século XIV pelos colonizadores portugueses, inicialmente na região Nordeste, principalmente nas faixas litorâneas, difundindo-se a partir daí para as demais regiões brasileiras (SILVA, 2011).

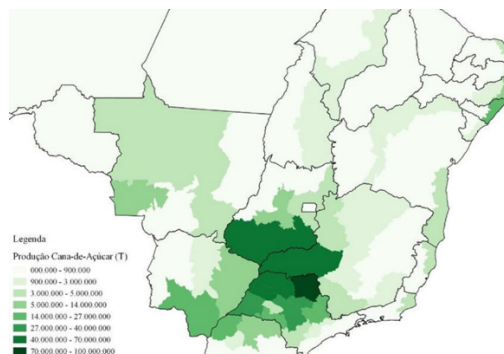
Figura 1 -Desenvolvimento Fenológico da Cana-de-açúcar



Fonte: Gascho & Shih (1983)

O cultivo da cana-de-açúcar ocorre em épocas alternadas e nas mais variadas condições climáticas. O Brasil é o único país com duas épocas de colheita anuais (FIGURA 2): a safra de parte da Região Nordeste vai de setembro a abril, e a do Centro-Sul e demais regiões vão de maio a dezembro, correspondendo aos períodos mais secos nessas regiões (Alfonsi *et al.*, 1987).

Figura 2 -Distribuição da Cana-de-açúcar no Brasil



Fonte: CONAB. (2022).

Além disso, a cana tem sido utilizada como forragem na dieta de animais domésticos (Bezerra Cordeiro et al. 2018; Siqueira et al. 2012) e os resíduos provenientes do seu processamento também são aproveitados para geração de energia elétrica, através da queima do bagaço de cana, que corresponde a 8,2% da matriz elétrica brasileira (EPE, 2022). Por outro lado, a vinhaça, um subproduto do processamento da cana, pode ainda ser utilizado na fertilização de culturas e vem se destacando com a possibilidade do álcool de segunda geração e produção de biogás (Silva et al. 2019).

A cana-de-açúcar cultivada no Brasil é formada pelo complexo de híbridos interespecíficos de espécies do gênero *Saccharum spp.*, com destaque para *S. officinarum*, conhecida como ‘cana nobre’ devido ao elevado teor de sacarose (Moore; Paterson; Tew, 2014) Atualmente dois tipos de cana-de-açúcar são empregados no mercado sucroalcooleiro: a cana-de-açúcar para energia e a cana-de-açúcar comum. O que as diferenciam é o fato de a cana-de-açúcar para energia é uma variedade desenvolvida a partir do cruzamento genético de ancestrais e híbridos comerciais de cana-de-açúcar. Esta é mais robusta, possui mais fibras e potencial produtivo, e pode ser plantada em áreas degradadas de pasto. Esta cana é ideal para a fabricação de biocombustíveis e bioquímicos de segunda geração, e para a geração de energia elétrica. Além disso, a cana energia necessita de menor quantidade de insumos (Granbio, 2017).

O Brasil lidera o ranking de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo responsável também por mais da metade de todo o açúcar produzido e comercializado no mundo, em ordem de 23 e 51,3% respectivamente, e o segundo

maior produtor de etanol, com 27,5% do volume global em 2021 (RFA, 2022) atrás apenas dos Estados Unidos (Vidal, 2022).

O Estado de São Paulo, maior produtor brasileiro, responde por 54,1% da quantidade de cana-de-açúcar produzida na safra 2020/21, e responsável pela produção de 48,4% de etanol (14,3 bilhões de litros) e 63,2% do açúcar (26,0 milhões de toneladas) (Nachiluk, 2021). No Ranking das principais regiões produtoras, o Centro- Oeste lidera o segundo lugar com uma produtividade média de 72.474 kg ha⁻¹, seguido pela região Nordeste, com uma produtividade estimada de 62.720 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022).

Os acordos econômicos firmados pelo Brasil a nível internacional têm exigido um aumento constante da produção brasileira de cana, reforçando a necessidade de investimentos e de tecnologias para aumentar a eficiência produtiva sem aumentar o custo de produção. Diante desse cenário a mecanização agrícola tem sido uma ferramenta indispensável para manter o setor em um patamar competitivo.

2.2 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

A modernização da agricultura, sobretudo o aumento na quantidade de operações mecanizadas, ocorreu na década de 1960, impulsionada inicialmente pela Revolução Verde, que oferecia um pacote tecnológico com o objetivo principal de aumentar a produção das lavouras. De acordo com Abreu et al. (2008) em cultivos de cana-de-açúcar, o processo de mecanização ocorreu primeiramente nas etapas de preparo do solo, e na década de 1990, após inúmeras transformações, a tecnologia já atingia todas as fases da produção canavieira.

De acordo com Moraes (2007) o rendimento da mão de obra no corte manual da cana-de-açúcar sem queima (cana-de-açúcar crua) comparado com a prática de queima, apresenta uma perda considerável em torno de três toneladas e meia por trabalhador dia, concluindo, portanto, que o corte de cana-de-açúcar crua só é rentável quando realizado por a partir de máquinas.

Segundo Braunbeck e Oliveira (2006), a colheita mecanizada representa a única opção para a colheita da cana que atenda aos requisitos de ergonomia, de

viabilidade econômica do setor e, principalmente, das exigências legais e ambientais, uma vez que somente com o corte mecânico é possível a colheita sem queima prévia. Aliado a isso, o incentivo a adesão ao protocolo de cooperação confere aos produtores de cana um Certificado de Conformidade Agroambiental, que proporciona vantagens importantes nos procedimentos de certificação de seus produtos para exportação (Novaes *et al.*, 2011).

A colheita manual e semimecanizada da cana de açúcar tem sido substituída pela colheita mecanizada nas principais regiões produtora de cana-de-açúcar do Brasil. Avaliando o índice de mecanização agrícola para a safra de 2020/21 no estado de São Paulo, o IEA/CATI constatou que em 55,3%, de um total de 501 municípios, das áreas com plantio de cana destinada ao corte, a colheita era totalmente mecanizada. Além disso, 149 municípios (29,7%) apresentavam em média 94,3% de suas áreas com plantio de cana-de-açúcar em pleno processo de mecanização, e apenas 4,3% dos municípios ainda em fase menos acelerada de mecanização, justificada pelo fato de serem áreas com declividade acima de 12% ou áreas cultivadas inferiores a 15 hectares (Fredo; Baptistela; Caser, 2022). Verifica-se, por tanto, que a colheita mecanizada da cana-de-açúcar é uma realidade no estado de São Paulo.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009) no sistema mecanizado são empregadas colhedoras autopropelidas (Figura 3) que cortam, limpam e transferem os colmos de cana-de-açúcar para veículos de transbordo ou diretamente em veículos de transporte, como caminhões. Existem dois tipos de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, sendo de cana inteira e cana picada. Porém, no Brasil é comum a colheita de cana picada crua, que pode ser destinada tanto para a produção de mudas quanto para o processamento na indústria sucroenergética (Ripoli, 1996).

Figura 3 - Colhedoras Autopropelidas de uma linha

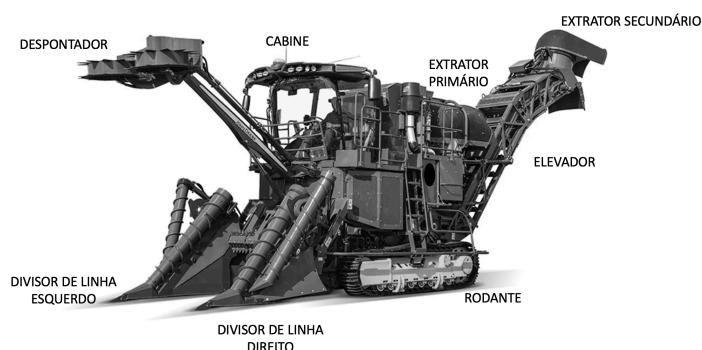


Foto: André Campos Melo -2023

Figura 4- Colhedoras Autopropelidas de duas linhas

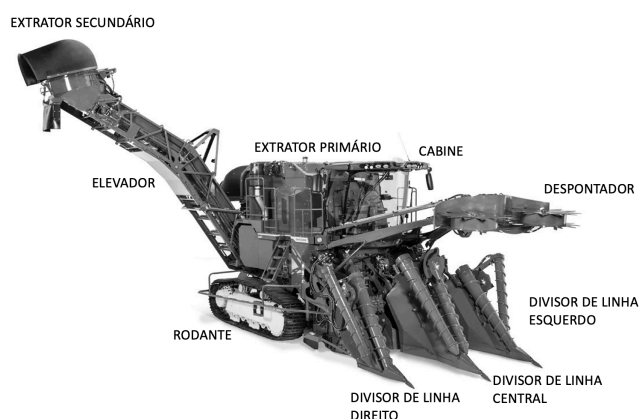


Foto: André Campos Melo -2023

A utilização da colheita mecanizada é admitida em relevos com até 17% de declividade, mas para isso é necessário realizar um trabalho detalhado de sistematização do talhão e a regulação das máquinas (Ripoli; Ripoli, 2009). A sistematização consiste em uma adequação do terreno que será cultivado a fim de proporcionar o máximo rendimento operacional, tendo como principais fatores, o nivelamento do terreno, o paralelismo entre as fileiras de plantio, a retirada de pedras e restos de materiais estranhos e a alocação de estradas e carregadores, bem como o planejamento do plantio (Benedini; Conde, 2008; Ripoli; Ripoli, 2009).

O planejamento das operações desde o preparo do solo até a colheita é fundamental para obtenção de maior eficiência produtiva, principalmente quando se

trabalha com operações mecanizadas. Além do planejamento da área, a regulação de máquinas, o treinamento de pessoas e a adoção de variedades adequadas à colheita mecanizada, contribui para melhoria da qualidade da colheita, redução do excesso de manobras e de pisoteio na soqueira, e conseqüentemente menores perdas de matéria-prima (Benedini; Donzelli, 2007).

2.3 Desempenho operacional na colheita de cana-de-açúcar

O desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar é entendido por diversos autores como o conjunto de atributos que caracterizam o grau de habilitação da máquina, bem como o treinamento da mão-de-obra para executar a operação de corte, sob determinadas condições operacionais (Furlani Neto; Fernandes; Mialhe, 1977; Mialhe; Ripoli, 1976). O grau de habilitação da máquina pode ser caracterizado a partir de fatores relacionados a capacidade de colheita, a qualidade do processamento do produto, a funcionalidade mecânica, a ergonomia e a segurança (Mialhe; Carraro Neto, 1993).

Ripoli e Ripoli (2009) definiram a capacidade de colheita como a quantidade de trabalho que a máquina é capaz de executar na unidade de tempo, podendo ser efetiva ou operacional. A capacidade efetiva não considera os tempos perdidos em manobras de cabeceira e outras interrupções, além disso, tanto pode ser líquida, quando são levadas em consideração as perdas de matéria-prima no campo, como pode ser bruta, quando se considera apenas o material jogado no veículo de transporte. Já a capacidade operacional, pode estar relacionada a uma jornada de trabalho ou a uma safra, e considera o somatório do tempo efetivo de trabalho com todos os tempos de interrupções ocorridos durante a operação.

Segundo Ma *et al.* (2015), o desempenho das máquinas é limitado pelas condições do solo e porte da planta e, portanto, para investigar como o porte da cultura e as condições do campo impactam na operação de colheita é desejável avaliar o desempenho das colhedoras em diferentes situações e identificar os principais problemas e mecanismos para implementar melhorias (Ramos, 2016).

Culturas com características de porte ereto e sistema radicular profundo permite melhor desempenho de colhedoras, pois esta condição facilita o corte basal e dos ponteiros e fornece resistência de sustentação dos colmos ao impacto das

lâminas em rotação, favorecendo o cisalhamento adequado. Por outro lado, quando o sistema radicular se encontra superficialmente, pode haver um corte imperfeito e destruição da soqueira (Ripoli; Ripoli, 2009; Mello; Harris, 2003).

Furlani Neto (2009), avaliando a influência do cultivo adensado da cana com duas linhas de plantio, afirmou que tal prática trouxe efeitos positivos no controle do tráfego de máquinas no talhão, resultando em menores distâncias percorridas pela máquina e, por esse motivo, melhorou, consideravelmente, o desempenho operacional da atividade.

Por outro lado, Dalben (2011), realizando um estudo sobre o desempenho operacional de colhedoras de duas linhas de cana-de-açúcar, relatou que o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida foi 60% menor nesse tipo de máquina, e que a capacidade operacional dessas máquinas foi, em média, 80% superior às colhedoras de uma linha em plantio duplo alternado.

A determinação do tráfego ou 'canteirização' da linha da soqueira também deve ser avaliando como mecanismo de controle de desempenho da máquina. Esse controle resulta em maior espaço de solo sem compactação ao lado das soqueiras, propiciando melhor desenvolvimento do canavial e maior longevidade (Benedini; Donzelli, 2007).

Segundo Mialhe (1996), o tráfego de máquinas entre fileiras, deve respeitar um "afastamento de segurança (AS)", definido como um afastamento lateral, a fim de não causar o pisoteio, de ambos os lados do eixo da fileira, a partir do qual a passagem da roda é inofensiva tanto à parte aérea das plantas como ao sistema radicular. Para a cana-de-açúcar, Ripoli e Ripoli (2009) consideram que uma distância mínima de 0,25 m entre a borda da banda de rodagem do pneu mais próximo da fileira de cana e o centro da linha de soqueira, atende ao conceito de afastamento de segurança.

A velocidade de deslocamento é um fator importante para o desempenho operacional das colhedoras de cana-de-açúcar e para o consumo de combustível (Ramos, 2016). A velocidade de colheita apresenta relação direta com as características do terreno e com a variedade de cana cultivada, sendo afetada diretamente pela quantidade a ser colhida pela máquina (Rosa L., 2015). Em

condições em que a cana se encontra entrelaçada ou acamada, o aumento da velocidade de trabalho pode proporcionar maior quantidade de embuchamentos (excesso de material vegetal nos órgãos ativos de funcionamento da colhedora, provocando a paralisação destes) e aumento das perdas (Ripoli; Ripoli, 2002).

A velocidade de colheita deve ser ajustada em função da sistematização dos talhões podendo variar de uma safra para outra. De acordo com Furlani Neto et al. (1996) o desenvolvimento tecnológico e a sistematização dos talhões, permitem que as colhedoras de cana-de-açúcar colham a uma capacidade efetiva média de 60 t h^{-1} , com perdas totais no campo variando de 3 a 6 t ha^{-1} (3 a 5 %) e índice de matéria estranha total de 3 a 8%.

Com o aumento da velocidade de trabalho das colhedoras de cana-de-açúcar durante a operação, há aumento nas capacidades de colheita, sendo elas: capacidade efetiva, capacidade efetiva bruta de matéria-prima, capacidade efetiva bruta de colmos e capacidade efetiva líquida de colmos, para a matéria prima destinada a indústria.

Estudos comprovam um aumento na capacidade de colheita em função do aumento da velocidade da máquina. Ramos (2013), estudando o desempenho operacional na colheita mecanizada em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor, ao utilizar duas velocidades diferentes de deslocamento, sendo elas 4 e $5,5 \text{ km h}^{-1}$, o autor concluiu que nas velocidades maiores a capacidade efetiva é sempre maior, sendo que a 4 km h^{-1} a capacidade efetiva foi de $54,9 \text{ t h}^{-1}$ de cana-de-açúcar colhida, e a $5,5 \text{ km h}^{-1}$ a capacidade efetiva aumentou para $81,8 \text{ t h}^{-1}$ de cana-de-açúcar colhida.

As colhedoras têm capacidade de trabalhar em velocidades de até $9,0 \text{ km h}^{-1}$; contudo, o que tem sido visto no campo é o uso de velocidades entre $4,0$ e $6,0 \text{ km h}^{-1}$, possivelmente devido à falta de sistematização dos talhões, voltados à colheita mecanizada. A velocidade de deslocamento a ser utilizada em cada condição deve ser ajustada em função das características do talhão, porte do canavial e a produtividade agrícola estimada (Ripoli; Ripoli, 2009).

O sistema de colheita mecanizada da cana-de-açúcar apresenta um ótimo desempenho de aproveitamento de horas de trabalho, representando, sobretudo, uma

modernização para o setor. No entanto, segundo Ripoli (1996), o desempenho operacional da máquina não deve ser medido somente pelos dados de capacidade operacional, sendo que dados complementares como a qualidade da matéria-prima colhida e suas perdas, são importantes para definir o desempenho da colhedora.

2.4 Perdas quantitativas e qualitativas da matéria-prima colhida

A operação de colheita pode ser passível de perda, mas com percentual mínimo aceitável e invariável para não afetar a eficiência do sistema. As perdas de matéria-prima são classificadas em qualitativas, quando é inerente a redução da qualidade do caldo da cana, principalmente no que se refere ao teor de sacarose aparente (POL), pureza (relação entre POL e °Brix) e açúcar total recuperável (ATR), ou quantitativas, quando ocorre perdas de pedaços, pontas, lascas e canas inteiras na lavoura ou então durante o transporte até a usina, reduzindo assim a produção total (Reis *et al.*, 2010). Ocasionalmente podem ocorrer perdas tanto qualitativas quanto quantitativas em uma mesma operação de colheita.

Na colheita mecânica da cana crua, os índices de perdas e de matéria estranha tendem a aumentar devido a maior massa vegetal que será processada pela colhedora (Silva; Garcia, 2009). A transição do corte manual para o corte mecanizado, resultou inicialmente, em grandes perdas de produção as quais podem chegar até 15%, sendo estas perdas gerada em forma de impurezas minerais ou vegetais, que é levado junto com a cana a caminho do beneficiamento da matéria prima até a indústria. Segundo Manhães *et al.* (2013) qualitativamente, são avaliados os danos causados às soqueiras após a colheita da cana-de-açúcar pela máquina, bem como o arranquio dessas.

As colhedoras de cana-de -açúcar podem operar colhendo tanto a cana inteira (colhedora de cana inteira) ou picada (colhedora de cana picada), onde o nível de perdas pode variar de um modelo para outro. Assim, devido a deposição do material cortado sobre o solo, pode ocorrer a contaminação da matéria-prima por pedras, solo, folhas verdes, palhas e ponteiros durante a etapa de carregamento no caminhão.

Por sua vez, a colhedora de cana picada apesar de apresentar um maquinário mais especializado para o armazenamento e transporte da cana após o

corte, pode ocasionar um esmagamento parcial da fibra, onde os facões acabam extraindo parte da sacarose presente no caule. Além disso, o sistema mecanizado de colheita de cana picada introduz certos inconvenientes, tais como aumento dos índices de impurezas na carga, que implicam a redução da qualidade tecnológicas da matéria-prima fornecida para moagem, e perdas de cana no campo (Magalhães; Braunbeck, 1998).

Segundo Moraes (1992), a cana colhida por colhedoras de cana picada apresenta índices de impurezas 2,7 vezes maiores que a cana cortada manualmente e carregada mecanicamente. Por outro lado, Manhães et al. (2013) avaliando perdas quantitativas e danos às soqueiras na colheita de cana-de-açúcar, com colhedeira de cana picada, no Norte Fluminense, observaram em maior número a presença de pedaços soltos e lascas, representando 54% das perdas totais, em ordem de 4,75 t ha⁻¹, significando mais de 10% do total de perdas.

Além da presença de impurezas misturadas a matéria prima, pode ocorrer perdas na qualidade do caldo extraído, como constatado em pesquisas atuais. Meert et al. (2020), avaliando as perdas quantitativas e qualitativas de cana-de-açúcar em função de métodos de colheita e uso de diferentes cultivares, observaram que na colheita manual o teor de sacarose aparente foi maior que na colheita mecânica, independentemente da cultivar avaliada.

Silva e Garcia (2009) relatam que existem diversos fatores relacionados a perdas na colheita, dentre eles estão: variedade, tratos culturais, preparo do solo e da área, manutenção da colhedora, habilidade do operador, falhas na cultura, porte do canavial, entre outros.

Dependendo da arquitetura da planta, da uniformidade no tamanho dos colmos e resistência dos mesmos, as perdas quantitativas podem ser maiores ou menores, já que plantas menos eretas e que tombam com facilidade dificultam o corte favorecendo assim, as perdas na forma de topo, ponta e cana inteira, além do aumento da quantidade de impurezas no caldo (Barbosa, 2012; Morais et al., 2015). Além disso, existem no mercado cultivares que, devido as suas características genéticas, podem produzir caldo de maior qualidade que outras cultivares (Meert et al., 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área Experimental

Os experimentos foram realizados no município de Jaboticabal-SP. A área experimental utilizada no ensaio, foi um talhão homogêneo de aproximadamente 20 há (Figura 5), apresentando solo argiloso, declividade de média de 4,8%, e sistematização adequada, sendo considerada apta para a colheita mecanizada. A variedade colhida foi a SP 801842, com porte ereto, em seu quarto corte, colhida de forma mecanizada, plantada em espaçamento de 1,5 m entre linhas mecanicamente, apresentando produtividade média total da área de 75 toneladas por hectare (Figura 6), sendo que a operação de colheita da cana-de-açúcar foi realizada sem a queima prévia do palhicho.

Figura 5 – Visão Geral da área



Foto: André Campos Melo -2023

Figura 6 – Porte da cana-de-açúcar da área experimental



Foto: André Campos Melo -2023

Figura 7 – Visão aérea da cana-de-açúcar da área experimental



Foto: André Campos Melo -2023

3.2 Máquinas utilizadas

Foram utilizadas duas colhedoras de cana-de-açúcar M1(Figura 8) e M2(Figura 9) e suas características estão descritas na tabela 01.

Tabela 1 – Especificações das colhedoras utilizadas nos experimentos

Especificações Técnicas	Colhedoras	
	Máquina 1 (M1)	Máquina 2 (M2)
Comprimento	15,14 m	16,27 m
Largura	2,33 m	5,93 m
Altura	6,23 m	7,02 m
Potência do motor	342 cv	544 cv
Capacidade do Tanque Combustível	605 L	1135 L
Capacidade do Tanque Hidráulico	405 L	309 L
Alcance Máximo do Desapontador	4,20 m	5,20 m
Peso	21 ton.	35,5 ton.
Fabricação do equipamento	2022	2022
Horímetro	1200	1600

Figura 8- Colhedora M1



Foto: André Campos Melo -2023

Figura 9 - Colhedora M2



Foto: André Campos Melo -2023

Figura 10 - Dimensões da máquina M1

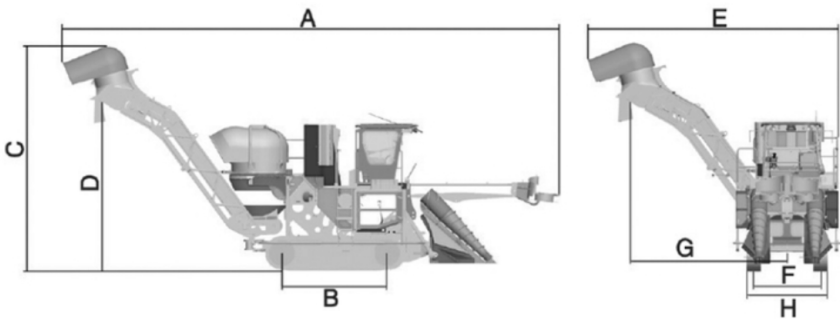


Foto: André Campos Melo -2023

Tabela 2- Dimensões colhedora M1

A	B	C	D	E	F	G	H
15,14 m	2,97 m	6,23 m	4,87 m	6,45 m	1,88 m	4,39 m	2,33

A colhedora M2 possui as seguintes dimensões:

Figura 11 - Dimensões da máquina M2

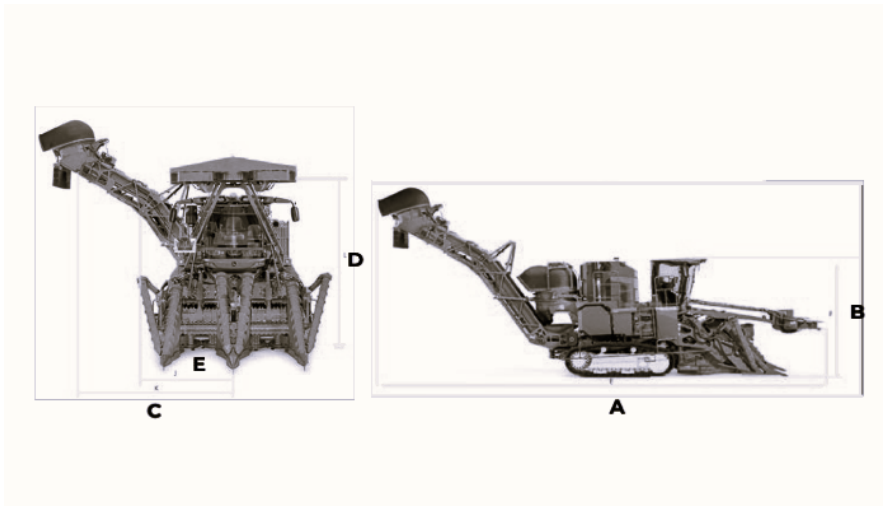


Foto: André Campos Melo -2023

Tabela 3. Dimensões colhedora M2

A	B	C	D	E
16,25 m	4,04 m	1,40 m	4,58 m	2,93m

Figura 12 - Sistema de corte de base M1, com dois divisores de linhas e duas canelas de corte de base

Figura 12 – Visão Frontal das colhedoras M1 e M2

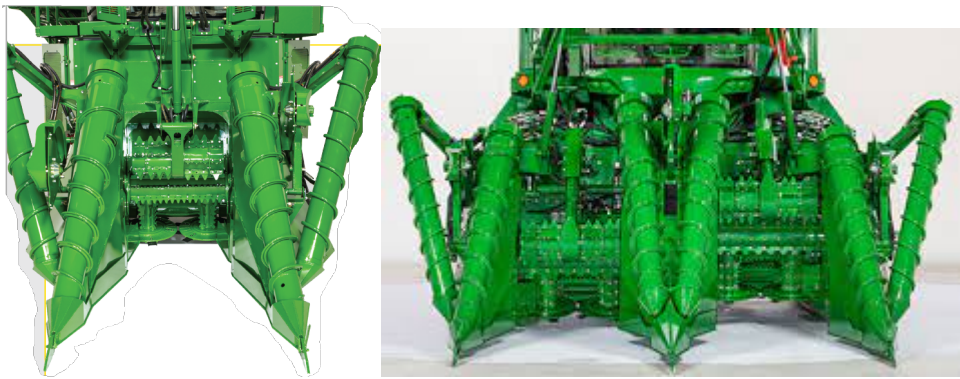


Foto: André Campos Melo -2023

A colheita foi realizada no mesmo talhão, com a mesma declividade e com a mesma variedade. Os ensaios foram realizados em três blocos e cada bloco dividido em dois tratamentos para as colhedoras serem comparadas de forma igual entre as parcelas.

Figura 13 -Distribuição dos blocos e tratamentos

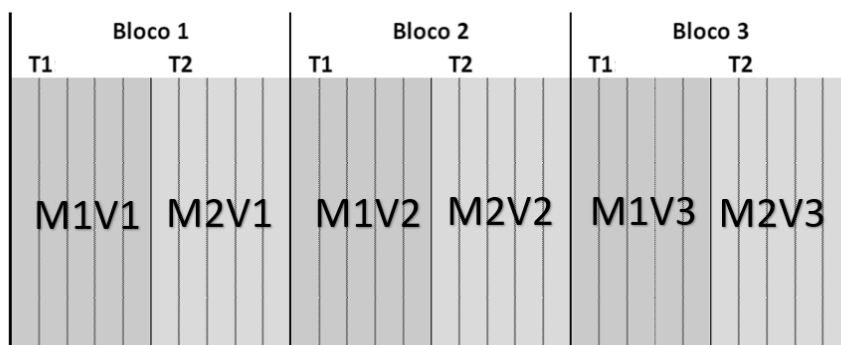


Foto: André Campos Melo -2023

3.3 Tratamentos e critérios de amostragem

3.3.1 Parâmetros dos ensaios de eficiência energética

O experimento com o objetivo de comparar a eficiência energética e a capacidade efetiva das máquinas das colhedoras foi executado com as velocidades de 3 km h^{-1} (V1), 4 km h^{-1} (V2) e 5 km h^{-1} (V3). As velocidades escolhidas foram determinadas de acordo com o porte do canavial sendo a velocidade padrão da operação de 4 km h^{-1} , para a realização dos ensaios foi usada 1 km h^{-1} a mais e um a menos.

Nos tratamentos foram coletadas 10 repetições para avaliar o consumo de combustível e capacidade operacional das colhedoras. O comprimento linear de cada amostra era de 100 metros de comprimento. Nesse contexto a colhedora de cana M1 colhe uma linha e a M2 duas linhas, dessa forma, gera uma parcela experimental de 150 m^2 para M1 e 300 m^2 para M2. Durante os experimentos foram

mantidas rotações de motor, de extratores primários e secundários iguais entre velocidade.

Tabela 4-Tratamentos realizados

Tratamento	Colhedora	Velocidade de colheita
M1V1	M1	3 km h ⁻¹
M1V2	M1	4 km h ⁻¹
M1V3	M1	5 km h ⁻¹
M2V1	M2	3 km h ⁻¹
M2V2	M2	4 km h ⁻¹
M2V3	M2	5 km h ⁻¹

3.3.2 Velocidade de deslocamento

As velocidades de deslocamento foram avaliadas em função do tempo gasto para percorrer cada fileira de 100 metros. Para a determinação do comprimento da área colhida foi utilizado um GPS modelo MAP 60csx da marca Garmin*.

Figura 14 – GPS utilizado nos ensaios



Foto: André Campos Melo -2023

3.3.3 Capacidade de campo efetiva

A capacidade de campo efetiva foi determinada pela relação entre a área útil da parcela trabalhada e o tempo gasto no percurso da parcela, por meio da Equação 1:

(1)

$$CE = \frac{Atr}{\Delta t} \cdot 0,36$$

Onde:

CE= capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹)

Atr= área útil da parcela trabalhada(m²)

Δt = tempo gasto no percurso da parcela experimental (s);

0,36 = fator de conversão

3.3.4 Consumo de combustível

Os dados foram obtidos através de quatro Fluxômetros (Figura 15) da marca Oval, modelo LSF45, de capacidade 500 l h⁻¹ de leitura máxima.

Figura 15 – Fluxômetros utilizados



Foto: André Campos Melo -2023

Foram instalados dois em cada máquina, sendo 1 na saída de combustível do tanque para o motor e o outro no retorno do motor para o tanque. A taxa de envio de dados desses equipamentos é de 1 pulso a cada 10 mL de combustível que passa em seu interior, esses pulsos são transmitidos para um controlador logico programável (CLP) que faz a leitura dos pulsos e interpreta o consumo instantâneo.

Figura 16 – Controlador Lógico Programável (CLP)



Foto: André Campos Melo -2023

As amostras foram coletadas após início de colheita e com velocidade constante de deslocamento, determinada no computador de bordo das máquinas.

3.3.5 Consumo horário de combustível (L h⁻¹)

O consumo horário de combustível foi obtido através do cálculo dos dados adquiridos pela Equação 2:

(2)

$$CCh = \frac{\Sigma(pe - ps) \cdot 3,6}{\Delta t}$$

Onde:

CCh = consumo horário de combustível (L h⁻¹)

Σ(p e – os) = diferença entre os somatórios de pulsos dos fluxômetros, equivalente a ml de combustível gasto, de entrada e de retorno do motor;

Δt = tempo gasto (s);

3,6 = fator de conversão.

3.3.6 Consumo de combustível por área de cana-de-açúcar colhida (L ha⁻¹)

O consumo de combustível por área foi obtido através do cálculo realizado conforme

(3)

$$CCa = Td.CCh$$

Onde:

CCa = consumo de combustível por área (L há⁻¹);

Td = tempo efetivo demandado (h há⁻¹);

CCh = consumo de combustível horário (L h⁻¹).

3.3.7 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida (L t⁻¹)

O consumo de combustível por tonelada foi obtido através do cálculo realizado conforme:

(4)

$$Ct = \frac{CCa}{P}$$

Onde:

Ct = consumo de combustível por tonelada (ton ha⁻¹);

CCa = consumo de combustível por área (L ha⁻¹);

P = produtividade do canavial (ton).

3.3.8 Perdas Visíveis de matéria prima

O delineamento experimental para avaliar as perdas foi em blocos ao acaso (DBC) com esquema fatorial 3x2 sendo utilizado três velocidades de deslocamento (3 km h⁻¹, 4 km h⁻¹ e 5 km h⁻¹) e duas colhedoras de cana-de-açúcar (M1 e M2) foram coletados de 6 repetições.

A metodologia utilizada para mensuração das perdas foi a do CTC (Centro de Tecnologia Canavieira). Após a colheita faz-se uma catação de forma manual em 10 m², com comprimento de 3,30 metros de largura e 3,0 m de comprimento.

Figura 17 – Área de coleta de Perdas Visíveis de matéria prima

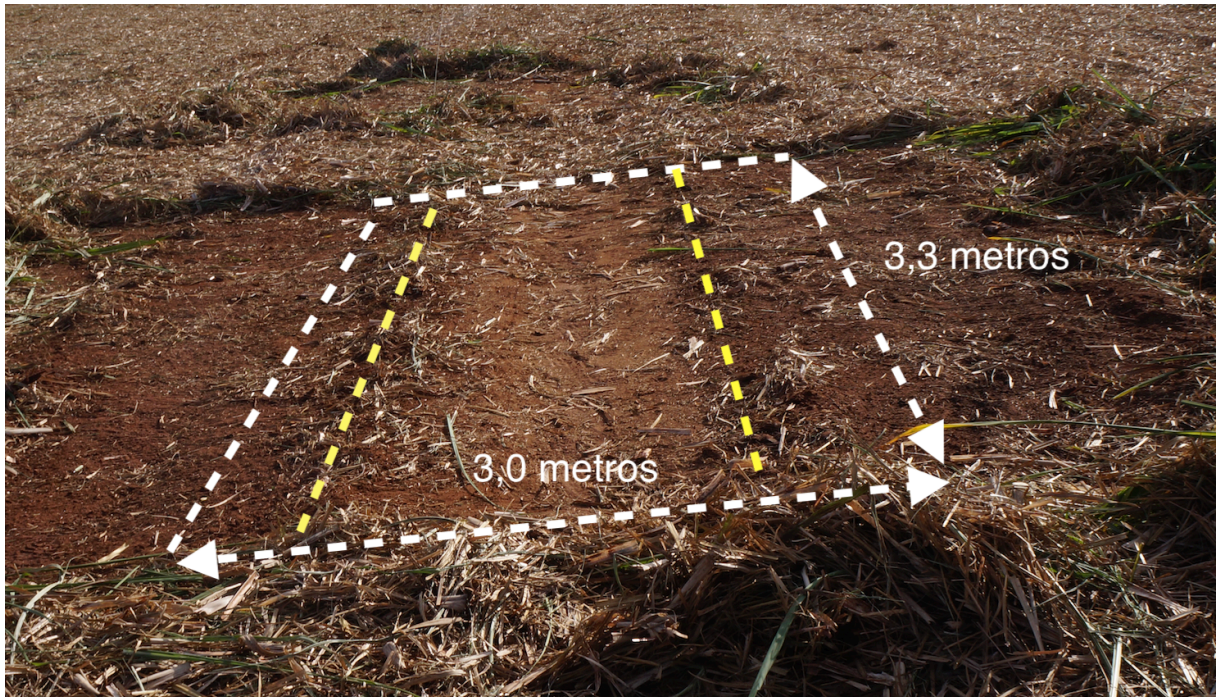


Foto: André Campos Melo -2023

As perdas são calculadas de forma absoluta através da equação:

(5)

$$P = \frac{100 \cdot PC}{PR + PC}$$

Onde:

P – Perdas (%)

PC – Perdas em Campo ($t\ ha^{-1}$)

PR – Produtividade do Canavial ($t\ ha^{-1}$)

São avaliados e pesados os seguintes componentes das perdas da colheita:

Tabela 5-Tipos de perdas

	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 $\frac{2}{3}$ do tamanho original da cana-de-açúcar
	Tolete	pedaços de cana cortada pelo facão do picador

	Lascas	fragmentos dilacerados de matéria-prima
	Pedaços	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. As perdas são classificadas em três níveis, sendo eles: nível de perdas baixo, nível de perdas médio e nível de perdas alto.

Tabela 6. Classificação das perdas de matéria-prima

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

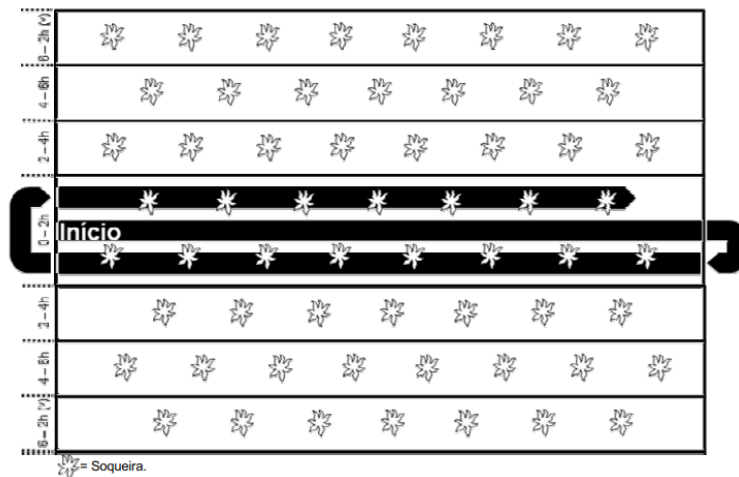
Fonte: CTC (2009)

3.3.9 Avaliação de abalo de soqueira

Para avaliação dos danos à soqueira, avaliou-se o percentual de abalo e de arranquio através da contagem de colmos em 10 metros (6 repetições) de linha de cana previamente ao corte e posteriormente realizou-se a contagem dos tocos,

contabilizando simultaneamente as soqueiras abaladas e arrancadas (Adaptado de KROSS, 1997)

Figura 18- metodologia de amostragem



3.3.10 Avaliação de danos soqueira

A avaliação aos danos foi realizada após o corte, os tocos avaliados foram classificados como sem danos (SD), com danos parciais (PD) ou danos extremos (ED), sendo que cada classificação representou um peso para a formação do índice (Quadro 1). O índice de danos representa as classificações atribuídas às soqueiras em um único valor e foi calculado pela média aritmética entre os pesos obtidos na avaliação e quantidade de colmos avaliados. Quanto mais próximo o índice estiver de 0,00, melhor foi o corte realizado, quanto mais próximo de 1,00, maior a quantidade de danos encontrados nos tocos.

O índice foi calculado através da Equação:

(6)

$$iD = \frac{p_{sp} \cdot n_{sd} + p_{dp} \cdot n_{dp} + p_{ed} \cdot n_{ed}}{n}$$

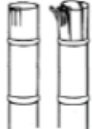
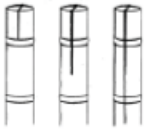
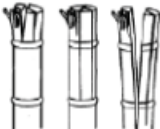
Onde

iD - Índice de Danos

n_{dp} - número de soqueira dano parcial

p_{sd} - Peso de soqueira sem danos p_{ed} - peso de soqueira dano extremo
 n_{sd} - Número de soqueira sem danos n_{ed} - número de soqueira dano extremo
 p_{dp} - Peso de soqueira dano parcial n -número de soqueiras

Figura 19 - Avaliação da qualidade de corte dos colmos da cana-de-açúcar

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

3.4 Análise Estatística

Esses tratamentos consistiram em três velocidades de deslocamento (3,0 4,0 e 5,5 km h⁻¹). Para as avaliações de eficiência energética e operacional foram realizadas 30 repetições e utilizadas 10 para cada tratamento. Para as avaliações de perdas visíveis de matéria-prima, abalo e arranquio de soqueira

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%. Já os dados de consumo de combustível foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas utilizando o teste de Scott Knott a um nível de significância de 1%. Essa abordagem estatística permite verificar se

existem diferenças significativas entre os tratamentos avaliados e identificar quais tratamentos apresentam médias estatisticamente diferentes. Dessa forma, é possível obter resultados confiáveis e embasados estatisticamente para a interpretação dos dados obtidos no estudo.

4 RESULTADOS

4.1 Eficiência Operacional e Energética

4.1.1 Velocidade de deslocamento

Os resultados demonstram que máquinas e velocidade apresentam efeitos significativos a 5%, M1 apresentou uma média significativamente mais alta do que M2. V3 apresentou a média mais alta, seguido pelo V2 e, por fim, o V1.

Tabela 6 – Média dos valores de velocidade

Máquina	Velocidade (km h ⁻¹)			Média
	V1	V2	V3	
M1	3,04 Ac	3,98 Ab	5,09 Ba	4,04 A
M2	3,01 Ac	3,80 Bb	4,9 Aa	3,92 B
Média	3,02 c	3,89 b	5,01 a	

P-Value (Máq.): 0,003; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,162; CV: 3,74; M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras maiúsculas avaliam a coluna e médias seguidas de letras minúsculas avaliam as linhas, letras iguais não apresentam diferença pelos fatores e letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

4.1.2 Capacidade de Campo Efetiva (ha h⁻¹)

Foi constatado, com uma significância de 5%, que houve diferenças estatisticamente significativas nas médias de capacidade de campo efetiva para todas as variáveis analisadas. Destaca-se que a máquina de duas linhas (M2) apresentou uma capacidade de campo efetiva superior. Adicionalmente, observou-se um aumento nas médias de capacidade de campo efetiva conforme a velocidade das colhedoras aumentava, sendo a maior média registrada no tratamento V3. Esses resultados evidenciam a relação direta entre o aumento na quantidade de linhas colhidas simultaneamente e o incremento na velocidade de deslocamento da máquina com o aumento da capacidade de campo efetiva. Em todas as velocidades avaliadas, a colhedora M2 demonstrou as médias mais elevadas de capacidade efetiva. Os resultados encontrados para a capacidade de campo efetiva foram semelhantes aos dados apresentados por Testa (2014), avaliando duas máquinas de uma e duas

linhas, obteve medias de 0,37 ha h⁻¹, 0,57 ha h⁻¹ e 0,73 ha h⁻¹ para colhedoras de uma linha e 0,78 ha h⁻¹, 1,06 ha h⁻¹ e 1,40 ha h⁻¹ para colhedoras de duas linha colhendo em velocidades 2,5 km h⁻¹, 3,5 km h⁻¹ e 5 km h⁻¹.

Tabela 7 – Média dos valores de Capacidade de campo efetiva

Máquina	Capacidade de campo efetiva (ha h ⁻¹)			Média
	V1	V2	V3	
M1	0,45 Bc	0,59 Bb	0,76 Ba	0.60 B
M2	0,89 Ac	1,14 Ab	1,56 Aa	1,19 A
Média	0,67 c	0,89 b	1,16 a	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,000; CV: 2,18; M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras maiúsculas avaliam a coluna e médias seguidas de letras minúsculas avaliam as linhas, letras iguais não apresentam diferença pelos fatores e letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

4.1.3 Consumo horário de combustível (L h⁻¹)

Foi constatado que houve diferenças estatisticamente significativas nos resultados do consumo horário de combustível, com um nível de significância de 5%. Ao analisar a variável máquina, observou-se que a colhedora M2 apresentou o maior consumo horário. Em relação à variável velocidade, constatou-se que a menor velocidade, denominada V1, resultou no menor consumo horário de combustível. Nas velocidades mais baixas, as colhedoras registraram um consumo horário de combustível inferior, enquanto nos tratamentos de maior velocidade (V3) com a colhedora M2, verificou-se o consumo mais elevado.

Notou-se que o aumento tanto na velocidade de deslocamento quanto na quantidade de linhas colhidas simultaneamente influenciou no aumento do consumo horário de combustível. Testa (2014) encontrou resultados semelhantes obtendo um consumo médio de 42,50 L h⁻¹ para colhedora de uma linha e 56,18 L h⁻¹ para colhedora de duas linhas.

Tabela 8 – Média dos valores de consumo horário de combustível

Máquina	Consumo horário de combustível (L h ⁻¹)			Média
	V1	V2	V3	
M1	31,32 Bc	34,95 Bb	40,86 Ba	35,72 B
M2	47,84 Ac	50,07 Ab	57,92 Aa	51,94 A
Média	39,58 c	42,51 b	49,32 a	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,021; CV: 1,95; M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras maiúsculas avaliam a coluna e médias seguidas de letras minúsculas avaliam as linhas, letras iguais não apresentam diferença pelos fatores e letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

4.1.4 Consumo de combustível por área colhida (L ha⁻¹)

As diferenças estatisticamente entre as máquinas (M1 e M2) e as velocidades de deslocamento foram constatadas no consumo de combustível por área colhida. Os tratamentos com a colhedora M2 e velocidades mais altas (V3) apresentaram o menor consumo de combustível por área colhida, enquanto os tratamentos com a colhedora M1 e velocidades mais baixas (V1) registraram o maior consumo por área. que o consumo de combustível por área colhida é influenciado tanto pela máquina utilizada (M1 ou M2) quanto pela velocidade de deslocamento. O uso da colhedora M2 e o aumento da velocidade de deslocamento resultam em um menor consumo de combustível por unidade de área colhida, o que sugere uma maior eficiência energética nessas condições de colheita

Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados por Ramos et al. (2016) de 78, a 165,6 L ha⁻¹, por Gallo (2023) de 63 a 78 L ha⁻¹ como o realizado por Rosa (2013) na colheita de duas linhas adensadas, relataram resultados semelhantes com um consumo médio de combustível de 67,5 litros por hora a uma velocidade de 5,0 km/h. Além disso, Schmidt Junior (2011), ao colher uma linha em uma velocidade similar, também encontrou resultados comparáveis aos obtidos pela colhedora M1, com um consumo médio de 50,3 litros por hora. Essas pesquisas demonstraram que o consumo horário de combustível aumenta conforme a velocidade de deslocamento das colhedoras é elevada

Tabela 9 – Média dos valores de consumo de combustível por área

Máquina	consumo de combustível por área (L t ⁻¹)			Média
	V1	V2	V3	
M1	68,65 Aa	58,51 Ab	53,58 Ac	44,79 B
M2	53,31 Ba	43,92 Bb	37,13 Bc	60,24 A
Média	60,98 a	51,21 b	45,35 c	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,2951; CV: 3,57; M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras maiúsculas avaliam a coluna e médias seguidas de letras minúsculas avaliam as linhas, letras iguais não apresentam diferença pelos fatores e letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

4.1.5 Consumo de combustível por tonelada (L t⁻¹)

O consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida apresentou um comportamento semelhante ao consumo por área, sendo que o consumo de combustível por tonelada diminuiu à medida que a velocidade de colheita aumentava em todas as velocidades ensaiadas. Destaca-se que a colhedora de duas linhas (M2) obteve o menor consumo de combustível por tonelada de cana colhida. Ao analisar os tratamentos separadamente, verificou-se que o maior consumo de combustível por área ocorreu na máquina de uma linha (M1) na menor velocidade (V1M1), enquanto o menor consumo foi observado na máquina de duas linhas (M2) na maior velocidade ensaiada (V3M2). Esses resultados indicam que a escolha da máquina e a velocidade de colheita têm um impacto significativo no consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida. A utilização da colhedora de duas linhas (M2) e o aumento da velocidade de colheita demonstraram uma maior eficiência energética, resultando em um menor consumo de combustível por unidade tonelada. Os resultados encontrados foram semelhantes aos encontrados por Ramos (2013) onde consumo de combustível por tonelada vão de 0,85 L t⁻¹ até 1,12 L t⁻¹. Foram consistentes também com os de Belardo (2010), que realizou a colheita com

uma máquina de uma linha. A uma velocidade de 5 km/h, Belardo obteve valores de consumo de combustível entre 0,66 e 0,70 litros por tonelada de cana colhida. Já a uma velocidade de 7 km/h, os valores encontrados foram de 0,47 a 0,53 litros por tonelada de cana colhida. Esses resultados corroboram a relação entre a velocidade de deslocamento da máquina e o consumo de combustível, indicando que o consumo por tonelada diminui à medida que a velocidade de colheita aumenta.

Tabela 10– Média dos valores de consumo de combustível por tonelada

Máquina	Velocidade			Média
	V1	V2	V3	
M1	0,80 Aa	0,68 Ab	0,63 Ac	0,70 B
M2	0,62 Ba	0,51 Bb	0,43 Bc	0,52 A
Média	0,71 a	0,60 b	0,53 c	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,3365; CV: 3,57; M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras maiúsculas avaliam a coluna e médias seguidas de letras minúsculas avaliam as linhas, letras iguais não apresentam diferença pelos fatores e letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

4.2 Perdas Visíveis de matéria prima

Na tabela são apresentados os valores médios para perdas visíveis, onde se verificou que a porcentagem de perdas entre as máquinas e velocidades foram distintas, com a máquina de duas linhas apresentando maior porcentagem de perdas, e não apresentando diferença entre as diferentes velocidades. Segundo a metodologia do CTC os ensaios que foram classificados como baixa quantidade de perdas foram todas as velocidades de M1 e a V3 de M2. Ramos (2013), encontrou valores que mostram que em baixas velocidades as perdas são menores e em velocidades mais elevadas são maiores. Nesse trabalho não foi encontrado diferença estatística para as a máquina de uma linha, porém para a máquina de duas linhas foi identificado diferença. Ao analisar a colhedora M2, nota-se que em velocidades

menores as perdas foram intermediárias. Isso demonstra uma menor perda de matéria prima de linha única em relação a duas linhas

Tabela 11– Média dos valores de perdas visíveis de matéria prima

Máquina	Perdas visíveis de matéria prima (%)			Média
	V1	V2	V3	
M1	1 Aa	1 Aa	1 Aa	0 % A
M2	2 Bb	3 Bc	1 Aa	0.0 % B
Média	1 b	1.5 c	1 a	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.):0,146 ; P-Value (Máq. x Vel.): 0.146; CV: 106,82 ; M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras maiúsculas avaliam a coluna e médias seguidas de letras minúsculas avaliam as linhas, letras iguais não apresentam diferença pelos fatores e letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ($\alpha= 5\%$).

4.3 Danos periféricos causados à soqueira

A Tabela apresenta a variabilidade dos danos periféricos causados a soqueira deixado após a passagem da colhedora. Ao analisar velocidade de colheita nota-se um menor dano na máquina M1 em relação a M2. Ao avaliar os resultados obtidos pela colhedora de duas linhas M2 nota-se um elevado grau de danos em todas as velocidades, embora estatisticamente não apresente diferenças existe uma diminuição pequena nos danos com o aumento da velocidade. Ao analisarmos as máquinas, M1 leva vantagem.

Noronha (2011) conduziu um estudo sobre o controle estatístico no processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar durante os períodos diurno e noturno. O autor observou diferenças significativas nos danos periféricos causados às soqueiras entre os dois períodos, com uma taxa de 42,6% durante a colheita diurna e 35,8% durante a colheita noturna. No que diz respeito aos danos fragmentados, foram registrados 36,4% durante a colheita diurna e 31,2% durante a colheita noturna. Ramos (2013) mostrou que à medida que a altura de corte nas soqueiras aumentou,

houve uma maior incidência de danos. Isso significa que a porcentagem de soqueiras sem danos diminuiu, enquanto os danos periféricos, de rachaduras e fragmentação, aumentaram.

Tabela 12– Média dos valores de Danos periféricos causados à soqueira

Máquina	Danos periféricos causados à soqueira (%)			Média
	V1	V2	V3	
M1	0 Bb	17,3 Bab	21,8 Ba	13,0 B
M2	60,6 Aa	59,5 Aa	58,8 Aa	59,6 A
Média	30,3 a	38,4 a	40,3 a	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.):0,238 ; P-Value (Máq. x Vel.): 0.148; CV: 41,03 ; M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras maiúsculas avaliam a coluna e médias seguidas de letras minúsculas avaliam as linhas, letras iguais não apresentam diferença pelos fatores e letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ($\alpha=5\%$).

4.4 Qualidade de corte

Na Tabela estão os resultados da avaliação da qualidade de corte em relação a velocidade de operação. Observa-se que a M1 obteve melhor qualidade em todas as velocidades avaliadas, quando comparada a M2, e entre as velocidades, a que apresentou melhor qualidade foi com a V2. As porcentagens de colmos sem danos foram maior na colhedora de duas linhas, apresentando uma diferença estatística grande. Entre as velocidades a V3 foi a melhor para a colhedora de uma linha e para a colhedora de duas linhas foi a V2. Moura (2019) demonstra em seu trabalho que quanto maior a velocidade e o ângulo de corte menores são os danos. Fator comprovado nesse trabalho.

Tabela 13– Média dos valores de Qualidade de corte (0 – 1)

Máquina	Média dos valores de Qualidade de corte (0 – 1)			Média
	V1	V2	V3	
M1	28,1 Ba	33,5 Ba	38,1 Ba	0,332 B
M2	48,8 Ab	75,5 Aa	55,8 Ab	0,600 A
Média	38,5 b	54,5 a	47 ab	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.):0,014; P-Value (Máq. x Vel.): 0.048; CV: 26,58 ; M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras maiúsculas avaliam a coluna e médias seguidas de letras minúsculas avaliam as linhas, letras iguais não apresentam diferença pelos fatores e letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ($\alpha= 5\%$).

5 CONCLUSÕES

Em todas as velocidades ensaiadas, a colhedora de duas linhas apresentou um desempenho operacional superior e um menor consumo por área e por tonelada colhida em comparação a colhedora de uma linha.

À medida que a velocidade de operação foi incrementada, observou-se uma redução nos consumos de combustível tanto por área trabalhada quanto por tonelada de cana-de-açúcar colhida.

A máquina de duas linhas apresentou uma maior porcentagem de perdas, para as velocidades ensaiadas.

Em relação aos danos periféricos causados à soqueira após a passagem da colhedora, a máquina de uma linha apresentou menores valores sendo considerados baixos. Já a colhedora M2 apresentou elevado índice de danos, em todas as velocidades.

A qualidade de corte foi significativamente maior na colhedora de uma linha, indicando uma diferença significativa em relação à colhedora de duas linhas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, D.; MORAES, L. A.; NASCIMENTO, E. N.; OLIVEIRA, R. A. Impacto social da mecanização da colheita de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, v. 6, Número Especial, p. 4-11, 2009.
- ALFONSI, R. R.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. *Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 42-55, 1987.
- BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. (2012). Melhoramento genético e recomendação de cultivares. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.). *Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol: tecnologias e perspectivas*. (2 ed.), Viçosa. cap. 11.313-331. 2012.
- BASTOS, K. J. J. Z.; LANDELL, M. G. A.; MIRANDA, E. S. Influência da produtividade da cana-de-açúcar no custo do corte mecanizado. *Revista iPecege*, v. 2, n.4, p.42-59, 2016.
- BELARDO, G. C. Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima. 2010. 136 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J.; Sistematização de área para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. *Coplana*, Guariba, n. 53, p. 23-25, 2008.
- BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L. Desmistificando a colheita mecanizada da cana crua. *Coplana*, Guariba, n. 42, p. 26-28, 2007.
- BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.1, p.300-308, 2006.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. CONAB: Brasília, DF, v. 9, n. 3, 2022. 59 p.
- CRUZ, R. R. Desempenho operacional e análise de custo do corte, carregamento e transporte mecanizado da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). 2010. 71 f. Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Matriz energética e elétrica. 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica#:~:text=A%20matriz%20el%C3%A9trica%20brasileira%20%C3%A9,em%20sua%20maior%20parte%2C%20renov%C3%A1vel>>. Acesso em: 18 Abr 2023.
- EZERRA CORDEIRO, J. D.; FERREIRA, G. D. G.; OLIVEIRA, M. W.; CAMPOS, J. M. S.; ANDRADE, A. P.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. R. S. Melhoramento genético e suas finalidades forrageiras. *Nucleus Animalium*, v. 10, n. 2, p. 131-147, 2018.
- FRANÇOSO, R. F.; BIGATON, A.; SILVA, H. J. T.; MARQUES, P. V. Relação do custo de transporte da cana-de-açúcar em função da distância. *Revista iPecege*, v.3, n., p.100-105, 2017.

FREDO, C. E.; BAPTISTELLA, C. da S. L.; CASER, D. V. Encerramento da Série Histórica de Empreita na Cana-de-açúcar (1971-2022): reflexos da colheita mecanizada. *Análises e Indicadores do Agronegócio*, São Paulo, v. 17, n. 9, p. 1-9, 2022.

FURLANI NETO, V. L.; FERNANDES, J. E.; MIALHE, L. G. Ensaio preliminar com colhedora Massey fergusson 201 – cane commander. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, v. 90, p. 11-15, 1977.

FURLANI NETO, V.L. Proposta de espaçamento para a mecanização em solos de baixa fertilidade – Ambientes C, D e E. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 11., 2009, Ribeirão Preto, Anais... Ribeirão Preto, 2009.

GRANBIO. Perguntas e Respostas. 2017. Disponível em:<
<https://www.granbio.com.br/biotecpedia/cana-energia/>> Acesso em: 18 Abr. 2023.

HAIR J. F., ANDERSON R. E., TATHAM RL, BLACK W. C. *Análise multivariada de dados*. Porto Alegre: Artmed Editora SA, 2009. 6 e.d. 688 p.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. *Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação*. E&S - Engineering and Science, v.5, n.1, p. 83-90, 2016.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *The Journal Educational Psychology*, Cambridge, v.24, p.498-520, 1933.

HOTELLING, H. Simplified calculation of principal components. *Psychometrika*, Williamsburg, v.1, p.27-35, 1936.

LATTIN, J. M.; CARROLI, J. D.; GREEN, P. E. *Análise de dados multivariados*. 2 e.d. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455 p.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Colheita de cana-de-açúcar- atualidades e perspectivas. In: R H Balbuena; Sergio Hugo Benez; Daniel Jorajuria (org.). *Ingenieria Rural y Macanizacion Agrária em el Âmbito Latinoamericano*. La Planta: Universidade Nacional de La Plata, 1998.v.1, p.262-73.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; CORRÊA JÚNIOR, D.; FRANCELINO, F. M. A.; VASCONCELOS JÚNIOR, J. F. S. FRANCELINO, H. O. Perdas quantitativas e danos às soqueiras na colheita de cana-de-açúcar no Norte Fluminense. *Vértices*, v.15, n. 3, p. 61-71, 2013.

MEERT, L.; ARAGÃO, G. N.; GENÚ, A. M.; MÜLLER, M. M. L.; SPÍNDOLA, J. S.; KRENSKI, A. FIGUEIREDO, A. S. T. Perdas quantitativas e qualitativas de cana- de-açúcar em função de métodos de colheita e cultivares. *Research, Society and Development*, v. 9, n.11, e-61991110204, 2020.

MIALHE, L. G. *Máquinas agrícolas: ensaios & certificação*. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722p.

MIALHE, L. G.; CARRARO NETO, H. C. Avaliação e análise do desempenho de colhedora de cana-de-açúcar. Relatório Técnico, Usina Cruz Alta, Olímpia, 1993. 170 p.

MIALHE, L. G.; RIPOLI, T. C. C. Evaluación de cosechadoras automotrices de caña de azúcar. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MECANIZACIÓN DE LA COSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR, 1976. Caracas. Anais... Caracas: Dist. Venezolana de Azucres, SLR, 1976. p. 189-204.

MOORE, P. H.; PATERSON, A. H.; TEW, T. Sugarcane: The crop, the plant and domestication. In: MOORE, P.; BOTHA, F. C. Sugarcane: Physiology, biochemistry, and functional biology. Wiley Online Library, p. 1-18, 2014.

MORAES, E. E. Avaliação das perdas invisíveis de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e impurezas vegetais na colheita mecanizada. 1992. 124 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas.

MORAES, M.A.F. D. Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil no período de 1992-2005. Estudo Econômico, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 875-902, 2007.

MORAIS, L. K.; CURSI, D. E.; SANTOS, J. M.; SAMPAIO, M.; CÂMARA, T. M. M.; SILVA, P.A.; BARBOSA, G. V.; HOFFMANN, H. P.; CHAPOLA, R. G.; FERNANDES JÚNIOR, A. R.; GAZAFFI, R. Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 38 p.

NACHILUK, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: < <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925> > colocar o link do artigo. Acesso em: 18 Abr. 2023.

NOVAES, M. R.; RUDORFF, B. F. T.; ALMEIDA, C. M.; AGUIAR, D. A. Análise espacial da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar: perspectivas futuras ao cumprimento do protocolo agroambiental. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 572- 583, 2011.

Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas. PECEGE. 2015. Custo de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: fechamento da safra 2014/15 e acompanhamento da safra 2015/16. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2015. 73p. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. CNA.

RAMOS, C. R. G.; Desempenho operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora. 2013. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2013.

REIS, G. N.; CALAFANGE, A.; BARRETO, A. K. G.; SILVA, R. P.; TOLEDO, A. Onde se perde. Cultivar Máquinas, v. 10, n. 97, p. 34-36, 2010.

RFA. RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. Annual ethanol production. U.S. and world ethanol production. Disponível em: < <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production> >. Acesso em: 18 Abr. de 2022.

RIPOLI, T. C. C. Ensaio e certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. Máquinas agrícolas: ensaios & certificação. Piracicaba, 1996. cap. 13, p.635- 73. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. Acesso em: 27 abr. 2023, 2009

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 333 p.

ROSA, J. H. M. Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar em espaçamento duplo alternado. 2013. Dissertação. 154 f. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2013.

ROSA, L. V. Desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar em função do perfil de carga do motor. 2015. Dissertação. 58 f. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”. Jaboticaba, 2015.

SANTORO, E. Otimização da rota na colheita mecanizada da cana-de-açúcar. 2016 .58 f. Dissertação. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2016.

SILVA, F. I. C.; GARCIA, A. Colheita mecânica e manual da cana-de-açúcar: histórico e análise. Nucleus, v.6, n.1, p. 233- 248, 2009.

SILVA, G. M. Pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar com amônia aquosa para a produção de etanol. 125 f. Dissertação. Programa de pós-graduação em engenharia química. Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2011.

SILVA, G. S. P. L.; SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; TOMAZ, E. BERTON, R. S.; MARCHIORI, L. F. S. SILVEIRA, F. G. Efeitos da aplicação de vinhaça "in natura" ou concentrado associado ao N-fertilizante em soqueira de cana-de-açúcar e no ambiente. Holos Environment, v. 19, n. 1, p. 1-21, 2019.

SIQUEIRA, G. R.; ROTH, M. T. P.; MORETTI, M. H.; BENATTI, J. M. B.; RESENDE, F. D. Uso da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal. v. 13, n. 4, p. 991-1008, 2012.

VARELLA, C. A. A. Análise multivariada aplicada as ciências agrárias: análise de componentes principais. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008. 12p.