

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL**

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

**RESTITUIÇÃO DE LINHAS DE PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR
COM ERROS DE PARALELISMO PARA COLHEITA
GEORREFERENCIADA**

**ELEN GABRIELA GUIMARÃES
MACHADO**

**PETROLINA, PE
2020**

ELEN GABRIELA GUIMARÃES MACHADO

**RESTITUIÇÃO DE LINHAS DE PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR
COM ERROS DE PARALELISMO PARA COLHEITA
GEORREFERENCIADA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao IF SERTÃO-PE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a
obtenção de título de Engenheira Agrônoma.

**PETROLINA, PE
2020**

M149

Machado, Elen Gabriela Guimarães.

Restituição de linhas de plantio de cana-de-açúcar com erros de paralelismo para colheitas georreferenciadas. - 2020.

15 f.: il. ; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia)-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina, 2020.

Bibliografia: f. 12-14.

1. Cana-de-açúcar. 2. Colheita mecanizada. 3. Georreferenciamento.I. Título.

CDD 633.61



SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO
FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO

FOLHA DE APROVAÇÃO

ELEN GABRIELA GUIMARÃES MACHADO

**RESTITUIÇÃO DE LINHAS DE PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM ERROS DE
PARALELISMO PARA COLHEITA GEORREFERENCIADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo, pelo Instituto Federal de Educação, Ciências
e Tecnologia Sertão Pernambucano, Campus Petrolina
Zona Rural.

Aprovado em: 24 / 10 / 2020

Banca Examinadora
Pablo Teixeira Leal de
Oliveira:00325760560

Assinado de forma digital por Pablo Teixeira Leal de
Oliveira:00325760560
DN: cn=Pablo Teixeira Leal de Oliveira:00325760560, ou=IF
SERTAO-PE - Instituto Federal de Educacao, Ciencia e
Tecnologia do Sertao Pernambucano, o=ICPEdu, c=BR
Dados: 2020.11.04 10:46:43 -03'00'

Dr. Pablo Teixeira Leal de Oliveira
Orientador/Presidente, IF Sertão-PE, Campus Petrolina Zona Rural

Instituto Federal de Educação e Tecnologia
Professor Dr. Arsenio Pessoa de Melo Junior
Mat. SAPE: 140898

Dr. Arsenio Pessoa de Melo Junior
2º Examinadora, IF Sertão-PE, Campus Petrolina Zona Rural

Esp. Luan de Jesus Rosa
3º Examinador, AGROVALE

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
MATERIAIS E MÉTODOS	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
CONCLUSÃO	12
REFERÊNCIAS.....	12

Restituição de linhas de plantio de cana-de-açúcar com erros de paralelismo para colheita georreferenciada

Elen Gabriela Guimarães Machado¹, Pablo Teixeira Leal de Oliveira², Anderson da Silva Moura Rodrigues³, Luan de Jesus Rosa⁴, Arsenio Pessoa de Melo Junior⁵

RESUMO: Os erros de paralelismo nas linhas de plantio da cana-de-açúcar podem dificultar a atividade da colheita mecanizada e aumentar o percentual de perdas visíveis no campo. Assim objetivou-se com esse trabalho analisar os benefícios da adoção da restituição das linhas de plantio de cana-de-açúcar com erros de paralelismo para colheita mecanizada georreferenciada. As variáveis analisadas dentro do estudo foram: percentual de perdas visíveis, capacidade operacional das colhedoras, eficiência de campo das colhedoras, dados de volume de óleo diesel ($l \cdot ton^{-1}$; $l \cdot h^{-1}$). A restituição das linhas de plantio de cana-de-açúcar influenciou positivamente os parâmetros da colheita mecanizada, com redução significativa nas perdas visíveis, aumento de 0,10 na eficiência de campo das colhedoras, acréscimo da capacidade operacional em mais de 6 ton/h e mais de 32% de redução no consumo de combustível.

PALAVRAS - CHAVE: ARP; desempenho operacional; eficiência de campo; consumo de combustível.

Restitution of sugarcane planting lines with parallelism errors for georeferenced harvesting

ABSTRACT: Parallel errors in sugarcane planting rows can hinder mechanized harvesting activity and increase the percentage of visible losses in the field. The aim of this work was to analyze the benefits of adopting the restitution of sugarcane planting lines with parallelism errors for georeferenced mechanized harvesting. The variables analyzed within the study were: percentage of visible losses, harvesters' operational capacity, harvesters' field efficiency, diesel oil volume data ($l \cdot ton^{-1}$; $l \cdot h^{-1}$). The restitution of sugarcane planting lines positively influenced the parameters of mechanized harvesting, with a significant reduction in visible losses, an increase of 0.10 in harvesters' field efficiency, an increase in operational capacity of more than 6 ton/h and a reduction of more than 32% in fuel fuel consumption.

KEYWORDS: RPA; operational performance; field efficiency; fuel consumption.

¹Graduanda em Bacharelado em Agronomia, IF-SERTÃO Pernambucano Petrolina *campus* zona rural. BR 235, Km 22 – Zona Rural, S/Nº - Projeto Senador Nilo Coelho – CEP 56302-970 – Telefax: (87) 2101-8066, e-mail: elenmachado97@gmail.com

²Doutorado em Engenharia Agrícola, professor efetivo IF-SERTÃO Pernambucano Petrolina *campus* zona rural, e-mail: pablo.leal@ifsertao-pe.edu.br

³Graduando em Bacharelado em Agronomia, IF-SERTÃO Pernambucano Petrolina *campus* zona rural, e-mail: anderson_ofi@hotmail.com

⁴Eng. Agrimensor, Coordenador de Topografia na Usina AGROVALE, e-mail: luandrade.eng@gmail.com

⁵Doutor em Engenharia Agrícola, professor efetivo IF-SERTÃO Pernambucano Petrolina *campus* zona rural, e-mail: arsenio.pessoa@ifsertao-pe.edu.br

Introdução

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com a área total a ser colhida na safra 2019/20 estimada em 8.481,2 mil hectares e produção de 642,7 milhões de toneladas, representando um crescimento de 3,6% em relação à safra anterior (Conab, 2019).

O país ocupa a mesma posição de liderança na produção e na exportação de açúcar com um valor correspondente de 48,5% do total dessa commodity comercializada no mundo, no entanto, na produção do álcool combustível o Brasil ocupa o segundo lugar, atrás somente dos Estados Unidos (Vidal, 2017). Levando em consideração a implementação da colheita mecanizada da cana-de-açúcar no Brasil, percebe-se que, na safra 2018/19 o percentual estimado correspondente à área de colheita mecanizada da cana-de-açúcar no Brasil foi de 91,6%, representando um grande salto da adoção dessa tecnologia quando comparado à safra 2007/08, com um percentual de 22,4% (Conab, 2018). Dentre os principais motivos para a grande adoção desse método de colheita nos canaviais, está a obrigatoriedade da redução da queima da palhada da cana e de seus impactos ambientais e aspectos relacionados à disponibilidade de mão-de-obra.

Segundo Grego et al. (2014), os produtores do setor canavieiro vem buscando cada vez mais tecnologias agrícolas competitivas, tanto para maiores retornos financeiros, quanto para menores impactos no ambiente. Neste sentido, as geotecnologias se destacam como ferramentas importantes para o mapeamento das áreas agrícolas, monitoramento de culturas agrícolas, estimativa de área de culturas, estimativa de produtividade, mapeamento de áreas de irrigação (pivô), fiscalização de crédito agrícola, detecção de estresse em plantas, previsão de safras e agricultura de precisão (Sanches,2016).

Dentre as geotecnologias existentes com aplicação agrícola, o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), vem sendo utilizado no autodirecionamento de máquinas em atividades cruciais da produção agrícola que demandem alguma orientação e precisão em sua realização como, por exemplo, plantio semimecanizado e mecanizado e a colheita mecanizada, com o intuito de melhorar a qualidade da operação e reduzir os custos de produção.

A prática de sensoriamento remoto nos canaviais com Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) é outra tecnologia que está em crescente adoção pelos produtores devido à grande utilidade dos relatórios e projetos gerados a partir do processamento das imagens obtidas no mapeamento do campo, a exemplo: mapas RGB, cálculos de índices de vegetação (NDVI, VARI e etc), geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Superfície (MDS), restituição de linhas para colheita, entre outros.

No mercado encontra-se algumas opções de softwares capazes de realizar a vetorização automática das linhas de cana-de-açúcar através de ortomosaicos para a colheita mecanizada, mas o alto preço de comercialização desses softwares limita o acesso aos possíveis consumidores, principalmente em áreas do Norte-Nordeste onde a colheita mecanizada corresponde a apenas 25,4% da área (Conab, 2018).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os benefícios da implantação da restituição das linhas de plantio de cana-de-açúcar para a colheita georreferenciada.

Materiais e Métodos

A pesquisa foi conduzida na Usina sucroalcooleira AGROVALE – Agroindústrias do Vale do São Francisco S/A. A qual está localizada na cidade de Juazeiro, Bahia, com latitude 9°29'45.42"S e longitude 40°21'42.48"O. O clima da região que compreende o centro de desenvolvimento Juazeiro/BA é do tipo BSw^h, segundo a classificação de Köppen, correspondendo a uma região de clima árido, com médias anuais de temperatura do ar acima de 24 °C (Teixeira, 2009).

Foram avaliadas duas áreas de produção de cana-de-açúcar localizados no setor Caxangá da usina, são eles: Santa Esmeralda (37,30 ha) latitude 9°28'37.55"S longitude 40°27'16.42"O e Santa Helena (49,01 ha) latitude 9°28'19.99"S longitude 40°27'5.73"O, a variedade de cana-de-açúcar cultivada em ambos os campos é a VAT- 90212, irrigada por sistema de gotejo subterrâneo com espaçamento de 0,70 x 1,30m duplo alternado, os campos encontravam-se no seu 8° e 10° corte respectivamente, tendo a colheita da cana soca aos 12 meses de estágio vegetativo, com TCH estimado para a safra 2020/2021 de 105 e 85 na mesma ordem.

O processo de vetorização das linhas de plantio da cana-de-açúcar foi realizado a partir dos ortomosaicos dos campos, sendo estes, produto do levantamento aerofotogramétrico com ARP realizado nos campos Santa Esmeralda e Santa Helena, o modelo do ARP utilizado foi Mavic 2 Pro. Para a elaboração do projeto do plano de vôo autônomo do veículo aéreo nos campos foi utilizado o software DroneDeploy, com as seguintes configurações de vôo: altura de vôo: 80m, sobreposição lateral e longitudinal: 70% e 70%, com de GSD: 1.8 cm/px. Os levantamentos aerofotogramétricos dos campos foram realizados aos 120 dias após a colheita da cana soca, período no qual a cana da rebrota estava na fase fenológica de perfilhamento e formação de touceira, apresentando um valor de biomassa considerável e uma melhor definição das linhas de plantio, facilitando conseqüentemente a identificação e vetorização das mesmas.

Para o processamento das imagens obtidas do voo do ARP o software utilizado foi o Agisoft PhotoScan Professional, seguindo-se a sequência de comandos do ícone do workflow (Add photos, Build dense cloud, Build mesh, Build texture, Build orthomosaic) para obter como produto ortomosaicos georreferenciados dos campos. Com o intuito de elevar a acurácia do mapeamento aéreo foram utilizados pontos de controle no alinhamento das imagens durante o processamento, sendo estes coletados com receptor GNSS Trimble R8S RTK. Quanto a quantidade e distribuição dos alvos artificiais dos pontos de controle no terreno, foram implantados 8 alvos por campo, sendo estes localizados na superfície das estradas em torno do perímetro do campo e nos carregadores internos entre os talhões.

Após o processamento das imagens e obtenção do ortomosaico georreferenciado, foi realizada a vetorização das linhas de plantio da cana-de-açúcar utilizando-se as ferramentas do Autodesk AutoCAD® Civil 3D, onde cada linha de plantio identificada no ortomosaico corresponderia a uma polilinha do desenho, que será a faixa de plantio percorrida pela colhedora. Finalizada a vetorização completa dos campos, foi executado o comando de análise vetorial de paralelismo do software para projetos de agricultura de precisão AgroCAD, com os intervalos de paralelismo ideal de 1,90 m – 2,10 m, com amostra a cada 1,50m. Os intervalos foram definidos levando em consideração o espaçamento entre tubos gotejadores subterrâneos (2m), com erro permitido de ± 10 cm.

Para a criação do projeto de auto-direcionamento das colhedoras de cana-de-açúcar John Deere CH670 380 cv, monitor *GreenStar*™ 3 2630, foi utilizado o software AgroCAD. Visando melhorar o desempenho operacional das colhedoras, foi aplicado o comando de otimização de manobras do software AgroCAD nas linhas vetorizadas, com uma diferença angular máxima e distância máxima padrão do programa. Ainda utilizando o software AgroCAD foi realizada a classificação (cliente, fazenda e talhão) e exportação do projeto para um dispositivo portátil de armazenamento, para posterior importação para o maquinário em campo.

Para fins de avaliação da influência da restituição das linhas de plantio de cana-de-açúcar com erros de paralelismo para colheita mecanizada georreferenciada, foram analisados e comparados os seguintes parâmetros da safra 2019/2020 e da safra 2020/2021 dos campos: percentual de perdas visíveis por colheita mecanizada, capacidade operacional das colhedoras, eficiência de campo das colhedoras e dados de volume de óleo diesel consumido: litros por tonelada de cana colhida ($l \cdot ton^{-1}$) e litros por hora ($l \cdot h^{-1}$). Os valores utilizados para o cálculo desses parâmetros foram quantificados e fornecidos pelo setor de colheita da usina AGROVALE, posteriormente os dados foram analisados utilizando estatística descritiva.

Os percentuais de perdas visíveis por colheita mecanizada foram obtidos através da Equação 1.

$$\% \text{ Perdas} = \frac{\text{Total de Perdas } \left(\frac{t}{ha}\right)}{\text{Produtividade do canavial } \left(\frac{t}{ha}\right) + \text{Total de Perdas } \left(\frac{t}{ha}\right)} \times 100$$

De acordo com Furquim (2014), a capacidade operacional é obtida pela razão entre a quantidade de cana colhida e o tempo disponível de operação da colhedora, a qual foi estimada conforme a Equação 2.

$$CO_J = \frac{Q_J}{T_J}$$

Em que

CO_J = capacidade operacional de jornada ($t \text{ h}^{-1}$);

Q_J = cana colhida em um dia de trabalho da máquina, (ton);

T_J = duração da jornada da máquina, (h);

Banchi et al. (2008) apontam que a Eficiência de campo (E_{fc}) é a razão entre o tempo efetivamente utilizado e o tempo total disponível para operação. A eficiência de campo das colhedoras foi calculada através da Equação 3.

$$E_{fc} = \frac{T_E}{T_T}$$

Em que:

E_{fc} = Eficiência de campo;

T_E = tempo efetivamente utilizado (h);

T_T = tempo total (h);

Resultados e Discussão

Na análise vetorial do paralelismo das linhas de colheita no software AgroCAD (Figura 1), observa-se que menos de 50% das linhas analisadas em ambos os campos estavam dentro do intervalo proposto e tido como o ideal, para os outros valores de espaçamento considerados: $< 1,90\text{m}$ e $> 2,10\text{m}$ a porcentagem obtida ficou acima de 25% nos dois campos analisados. Segundo RIPOLI & RIPOLI (2002), a operação de abertura dos sulcos para o plantio de cana-de-açúcar deve ser rigidamente

controlada, em relação ao paralelismo das fileiras de plantio, mesmo adotando-se o espaçamento ideal de 1,50m para a colheita mecanizada. A falta de controle desse processo, tem como consequência o aumento das perdas de colheita.

A porcentagem total de erros fora do intervalo analisado diferem do obtido por Silva (2010), na análise do paralelismo das linhas de plantio em sistema semi-mecanizado sem uso do piloto automático onde o índice de erros totalizou 76% dos dados levantados.

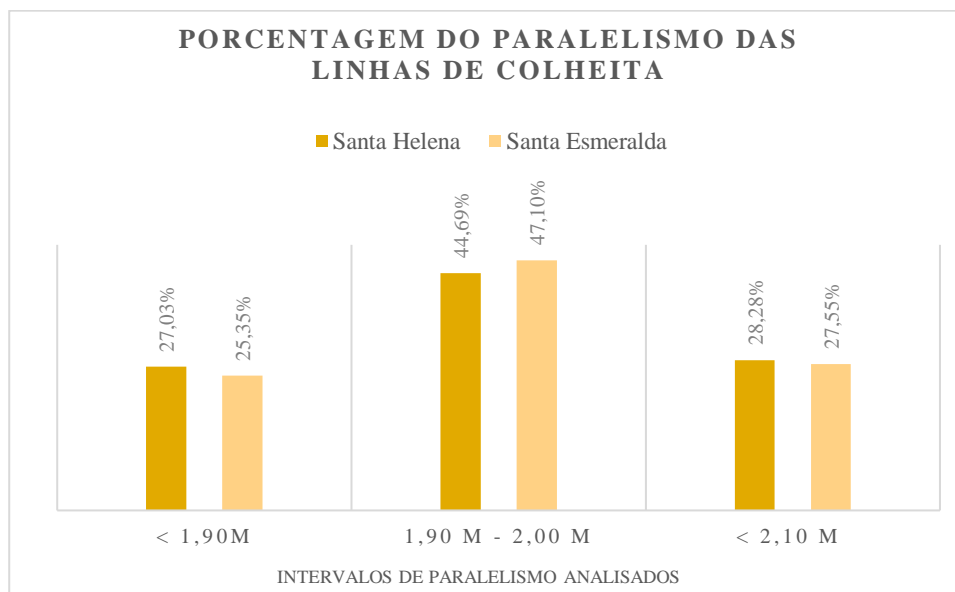


Figura 1. Percentagem de linhas de colheita presentes nos intervalos de paralelismo < 1,90m, 1,90m-2,10m, >2,10m na análise vetorial do paralelismo do software AgroCAD.

Em relação às perdas visíveis por colheita mecanizada (Tabela 1 e 2), verificou-se uma tendência a redução das perdas totais com a utilização do projeto de colheita georreferenciada nos dois campos analisados, quando comparados as safras 2019/20 e 2020/21. A variação dos valores de perdas em TC/ha (Tabela 3) foram de 4,45 e 10,98 para o campo Santa Esmeralda e Santa Helena respectivamente. A grande variação do valor do campo Santa Helena pode ser explicada em parte, pela ausência do valor da categoria de cana inteira nos cálculos já que a demarcação das parcelas em campo para a determinação das perdas ocorreu após a coleta do material sobre o solo.

Tabela 1. Desempenho operacional das colhedoras CH 670 no campo Santa Esmeralda.

Parâmetros	Santa Esmeralda	
	Safra 2019/20	Safra 2020/21
Perdas Totais (%)	7,46	4,65
Eficiência de campo (Efc)	0,49	0,59
Capacidade operacional (ton/h)	38,63	45,36

Tabela 2. Desempenho operacional das colhedoras CH 670 no campo Santa Helena.

Parâmetros	Santa Helena	
	Safra 2019/20	Safra 2020/21
Perdas Totais (%)	12,9	2,71
Eficiência de campo (Efc)	0,37	0,45
Capacidade operacional (ton/h)	34,42	35,34

Tabela 3. Valores das categorias de perdas visíveis por colheita mecanizada dos campos Santa Esmeralda e Santa Helena.

Categorias de perdas (ton//ha)	Santa Esmeralda		Santa Helena	
	Safra 2019/20	Safra 2020/21	Safra 2019/20	Safra 2020/21
Pedaço solto	2,180	0,823	1,893	0,948
Lascas	1,906	0,600	2,589	0,338
Pedaço fixo	1,698	0,458	2,035	0,613
Cana inteira	0,640	1,327	3,823	-
Tolete repicado	0,587	0,785	0,836	0,593
Toco	1,106	0,778	0,887	0,507
Cana Ponta	0,289	0,298	0,172	0,0
Estilha	0,695	0,770	1,497	0,429
Perdas TC/ha	9,104	4,655	13,734	2,755

TC/ha – tonelada de cana/ha.

De acordo com os dados analisados, podemos inferir que o melhor posicionamento do sistema de corte basal da colhedora na faixa de colmos a ser colhido, juntamente com a utilização do sistema CICB (Controle Integrado da altura do Corte de Base) ativado colaborou para redução das perdas totais na colheita de cana-de-açúcar. De acordo com Silva et al. (2008), as perdas em pedaço fixo estão relacionadas a terrenos acidentados, variação da altura de corte durante o processo principalmente quando não se trabalha com o dispositivo de controle automático da altura de corte. Noronha et al. (2011) correlaciona as perdas em toco com as perdas em pedaço fixo por ambos os tipos de perda terem os mesmos motivos de ocorrência. Reis (2009), afirma que os microrrelevos de geometria mais profunda influenciam nas perdas por colheita mecanizada, afetando a qualidade do corte de base, resultando em tocos altos deixados na área. A variação dos valores obtidos para as categorias de pedaço fixo e toco para o Santa Esmeralda (Tabela 3) foram de 1,24 t/ha e 0,328 t/ha respectivamente, para o campo Santa Helena 1,42 t/ha e 0,38 t/ha na mesma ordem.

Outras atividades que estejam diretamente relacionadas com a qualidade da colheita e que demandem a atenção do operador da colhedora como o controle da altura do cortador de pontas, correto posicionamento do elevador da colhedora nos limites dos transbordo e entre outros podem ter influenciado na redução das perdas visíveis observadas na safra 2020/2021.

Os valores de eficiência de campo das colhedoras (Tabela 1) diferiram também entre as safras, obtendo-se um acréscimo máximo de 0,10 do valor, o que indica um aumento da velocidade de trabalho do maquinário e consequente aumento da capacidade operacional (Tabela 1).

Ripoli et al. (2001), notou que com uma velocidade de avanço de 5,39 km h⁻¹, atingiu-se uma Efc de 60% com consequente melhoria no desempenho econômico do processo de colheita mecanizada. Santos (2011), analisando de forma sistêmica a influência de certos aspectos no desempenho econômico e operacional da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, observou que com um acréscimo de 10% da variável eficiência de campo das colhedoras obteve-se redução do custo de 11,48% por tonelada.

Os mesmos aumentos nos valores da capacidade operacional de colhedoras em canaviais sem queima prévia em função da elevação da velocidade de deslocamento foram obtidos por Nery (2000); De León (2000) e Santos (2011).

Tabela 4. Análise estatística descritiva para os valores de consumo de combustível 1.ton⁻¹ das colhedoras CH 670.

Campo	Safra	Média	Med.	Ampli.	S ²	S	E.P	C.V
Santa	2019/20	1,096	0,99	0,68	0,124	0,352	0,203	32,12%
Helena	2020/21	1,236	1,19	0,56	0,08	0,283	0,163	22,88%
Santa	2019/20	1,02	1,02	0,28	0,019	0,14	0,08	13,72%
Esmeralda	2020/21	0,586	0,52	0,22	0,015	0,122	0,07	20,90%

Med - mediana; Ampli – amplitude; S² - variância; S - desvio padrão; E.P – erro padrão; C.V – coeficiente de variação.

Para a variável consumo de combustível L.t⁻¹ o valor médio encontrado no campo Santa Esmeralda na safra 2020/21 (Tabela 4) ficou abaixo dos valores encontrados por Nery (2000) 0,61 a 2,92 L.t⁻¹ e muito próximos aos encontrados por Belardo (2010) 0,47 a 0,70 L.t⁻¹ e Schmidt Junior (2011) de 0,52 a 0,75 L.t⁻¹, os demais valores médios obtidos para os dois campos ficaram acima de 1,00 L.t⁻¹, semelhante aos valores encontrados por Martins et.al (2017) 0,9 a 1,50 L.t⁻¹ e Nery (2000).

Tabela 5. Análise estatística descritiva para os valores de l.h⁻¹ das colhedoras CH 670.

Campo	Safra	Média	Med.	Ampli.	S ²	S	E.P	C.V
Santa	2019/20	36,49	38,78	17,29	78,66	8,895	5,12	24,31%
Helena	2020/21	41,51	42,33	3,46	3,497	1,87	1,079	4,50%
Santa	2019/20	38,95	38,95	6,01	9,03	3,00	1,732	7,70%
Esmeralda	2020/21	26,22	26,30	4,86	5,90	2,428	1,401	9,26%

Med - mediana; Ampli – amplitude; S² - variância; S - desvio padrão; E.P – erro padrão; C.V – coeficiente de variação.

Os resultados obtidos no consumo médio de combustível em l.h⁻¹ (Tabela 5) diferiram dos encontrados por Carvalho Filho (2000) 47, 77 L.h⁻¹ e Martins et al. (2017) 47, 20 l.h⁻¹, e ficaram muito próximos dos encontrados por Lanças (2012) 30 a 35 L.h⁻¹ e Ramos et. al (2016) 30,4 a 46,6 L.h⁻¹.

A redução de mais de 32% no consumo de combustível do campo Santa Esmeralda pode ser explicado em parte pelo grande número de linhas de colheita otimizadas e consequente redução das manobras da máquina dentro do talhão. Ramos et.al (2016), avaliando a eficiência e demanda energética de uma colhedora de cana-de-açúcar em talhões de diferentes comprimentos, observou que a redução dos comprimentos dos talhões ocasionou a diminuição do desempenho de todos os fatores operacionais e proporcionou aumento do consumo de combustível por área e por tonelada colhida. Ainda no mesmo trabalho o autor observou que dentre todas as operações improdutivas realizadas pela colhedora, na condição de manobra obteve-se os maiores valores de consumo de combustível $12,7 \text{ L.h}^{-1}$, sendo esse valor variável de acordo com as formas de operação da colhedora.

O aumento observado no valor médio do consumo de combustível L.h^{-1} no campo Santa Helena na safra 2020/21, pode ser explicado em parte pela maior demanda de potência do motor do maquinário, já que houve um acréscimo da produtividade do canavial quando comparado a safra anterior.

Conclusão

A restituição das linhas de plantio de cana-de-açúcar para colheita georreferenciada influenciou positivamente: na redução das perdas visíveis por colheita mecanizada, no aumento da eficiência de campo, na capacidade operacional das colhedoras e na redução do consumo de combustível.

Referências

- BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; ZAGO, C.A. Estudos de eficiência das colhedoras de cana-de-açúcar. Revista Agrimotor, São Paulo, n. 32, p. 8-9, 2008.
- BELARDO, G. C. Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) sem queima. 2010. 136p.:il. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- CARVALHO FILHO, S.M. Colheita mecanizada: desempenho operacional e econômico em cana sem queima prévia. 2000. 108p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.
- CONAB. Acomp. safra bras. cana, v. 5 - Safra 2018/19, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-62, maio 2018.
- CONAB. Acomp. safra bras. cana, v. 6 - Safra 2019/20, n. 3 - Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-58, dezembro 2019.

- DE LEÓN, M.J. Avaliação de desempenho operacional de duas colhedoras em cana (*Saccharum spp.*) crua. 2000. 112 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- FURQUIM, E.F. Ensaio de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e tratores agrícolas. 2014. 67 p. TCC (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2014.
- GREGO, C.R. *et al.* Agricultura de precisão em cana-de-açúcar. *In*: EMBRAPA (Brasília - DF). Agricultura de Precisão. Brasília: [s. n.], 2014. cap. 45, p. 442-457. ISBN 978-85-7035-352-8.
- LANÇAS, K. P. Consumo de combustível: Não se engane. *In*: FIORESE, D. A.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; MARASCA, I.; ALEIXO, E. V.; MACIEL, A. J. da S. Características energéticas dos tratores agrícolas. *Agriworld*, Ano 3, n. 10, p. 38-46, 2012.
- MARTINS, M. B.; RAMOS, C. R. G.; SOUZA, F. L.; SARTORI, M. M. P.; LANÇAS, K. P. Relação entre velocidade de deslocamento, rendimento da cana-de-açúcar e o consumo de combustível da colhedora. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 88–91, jan./mar. 2017.
- NERY, M.S. Desempenhos operacional e econômico de uma colhedora em cana crua. 2000.108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- NORONHA, R. H. F.; SILVA, R. P.; CHIODEROLI, C. A.; SANTOS, E. P; CASSIA, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.
- RAMOS, C.R.G. *et al.* EFICIÊNCIA E DEMANDA ENERGÉTICA DE UMA COLHEDORA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM TALHÕES DE DIFERENTES COMPRIMENTOS. *Revista Energia na Agricultura*, [s. l.], v. 31, p. 121-128, 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n2p121-128>.
- REIS, G.N. Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base. 89 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS CÂMPUS DE JABOTICABAL, [S. l.], 2009.
- RIPOLI, Tomaz Caetano Cannavam; CARVALHO FILHO, S. M.; MOLINA JUNIOR, Walter Francisco; RIPOLI, M. L. C. Desempenho econômico de colhedora, em cana crua. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v. 12, n. unico, p. 1-5, 2001.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. 2. ed. Piracicaba: Edição dos Autores, 2002. 302 p.
- SANCHES, I. D. Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura, XVIII Curso de Uso Escolar de Sensoriamento Remoto no Estudo do Meio Ambiente, INPE, julho, 2016.
- SANTOS, N. B. Identificação dos fatores críticos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) / Neisvaldo Barbosa dos Santos. - - Piracicaba, 2011. 85 p. : il. Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011.

SCHMIDT JUNIOR, J. C. Avaliação de desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, F.C.S. Avaliações para estudo de viabilidade de implantação de tecnologias de auto-direcionamento em operações mecanizadas em uma usina de cana-de- açúcar. 2010. TCC (Engenharia Agrônômica) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, [S. l.], 2010.

SILVA, R.P.; CORRÊA, C.F.; CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.292-304, 2008.

TEIXEIRA, A. H. de C. Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2009. 226 p.

VIDAL, M. de. F.. Situação do setor sucroenergetico nordestino: Safra 2105/16.Caderno Setorial ETENE. Ano2, n2. 2017.