

O impacto da tecnologia aplicada ao processo de colheita de cana-de-açúcar na eficiência do setor sucroenergético em uma empresa paulista

MAZZONETTO, Alexandre Witier
GONÇALVES, Eloy Peres
SOARES, Sabrina Stefani

Resumo

Este trabalho mostra a evolução do processo de colheita de cana-de-açúcar com o avanço tecnológico. A cana é uma matéria prima muito importante para o Brasil, dela pode-se extrair produtos como: açúcar, álcool e energia - elétrica e térmica. Apresenta-se uma contextualização histórica expondo os três métodos de colheita, tendo como foco a colheita mecanizada, cujo processo se destacou pela alta produtividade, contribuindo para a redução de perdas no campo e para a qualidade da matéria prima encaminhada a indústria. Esse artigo analisou as tecnologias implementadas ao longo dos anos que contribuíram e supriram as necessidades de uma empresa em suas atividades no campo e mostra os resultados que essa empresa do setor sucroenergético obteve, em um período de oito anos, com melhorias implementadas nas máquinas colhedoras de cana, atestando que essas alterações elevaram o patamar da empresa no setor. A produtividade efetiva das usinas analisadas apresentou um aumento médio de 40,13% durante o período estudado, além disso a empresa paulista alcançou uma redução média de 38,20% das impurezas no processo de colheita. Estes números demonstram que a tecnologia melhorou a eficiência da organização, gerando melhor produtividade e qualidade da matéria prima.

Palavras-chave: eficiência na colheita; setor sucroenergético; colheita da cana-de-açúcar, impurezas.

Abstract

This paper shows the evolution of the sugarcane harvesting process seen over technological advances. Sugarcane is a very important raw material for Brazil, from which products such as sugar, alcohol and energy can be produced. A historical contextualization is presented, exposing the three harvesting methods, focusing on mechanized harvesting, whose process stood out for its high productivity, contributing to the reduction of losses in the field and to the quality of the raw material sent to the industry. This article analyzed the technologies implemented over the years that contributed to and met the needs of a company in its activities in the field and shows the results that this company in the sugar-energy sector obtained, over an eight-year period, with improvements implemented in the harvesting machines. cane, attesting that these changes have raised the company's level in the sector. The effective productivity of the analyzed plants showed an average increase of 40.13% during the period studied, in addition the company from São Paulo achieved an average reduction of 38.20% of impurities in the harvesting process. These figures demonstrate that technology has improved the organization's efficiency, generating better productivity and quality of the raw material.

Keywords: harvest efficiency; sugar-energy sector; sugarcane harvest, impurities.

Resumen

Este trabajo muestra la evolución del proceso de cosecha de la caña de azúcar visto por los avances tecnológicos. La caña de azúcar es una materia prima muy importante para Brasil, de la cual se pueden extraer productos como el azúcar, el alcohol y la energía. Se presenta una contextualización histórica, exponiendo los tres métodos de cosecha, centrándose en la cosecha mecanizada, cuyo proceso se destacó por su alta productividad, contribuyendo a la reducción de pérdidas en el campo y a la calidad de la materia prima enviada a la industria. Este artículo analizó las tecnologías implementadas a lo largo de los años que contribuyeron y cubrieron las necesidades de una empresa en sus actividades en el campo y muestra los resultados que obtuvo esta empresa en el sector de la energía azucarera, durante un período de ocho años, con mejoras implementadas en las máquinas cosechadoras. Caña, que acredita que estos cambios han elevado el nivel de la empresa en el sector. La productividad efectiva de las plantas analizadas mostró un aumento promedio de 40.13% durante el período estudiado, además la empresa de São Paulo logró una reducción promedio de 38.20% de impurezas en el proceso de cosecha. Estas cifras demuestran que la tecnología ha mejorado la eficiencia de la organización, generando una mejor productividad y calidad de la materia prima.

Palabras clave: eficiencia de cosecha; sector de energía azucarera; cosecha de caña de azúcar; impurezas.

INTRODUÇÃO

O processo de colheita da cana-de-açúcar vem sofrendo grandes modificações ao longo dos anos. Até a década de 1950, o corte da cana era totalmente manual. Junto ao aumento do cultivo da cana-de-açúcar após 1950, introduziu-se a queimada da palha da cana-de-açúcar antes da colheita, o que aumentou o rendimento diário do cortador. A partir da década de 1980, ingressaram no processo de colheita da cana-de-açúcar as “colhedeiças de cana”, que são máquinas mecanizadas gerando uma elevação fantástica na eficiência do processo de colheita da cana (LOPES, 2016).

A tecnologia em conjunto com a inovação, pode proporcionar às indústrias sucroalcooleiras aumentos da produtividade e redução dos custos de operação e manutenção. Ripoli (2014) afirma que as novas tendências para o setor dependem da tecnologia e que ainda há melhorias a serem implementadas para que o processo de colheita se torne ainda mais eficiente.

A indústria, de modo geral, se preocupa com as perdas nos seus processos e a agroindústria não foge dessa realidade. O processo de colheita da cana-de-açúcar ocasiona perda de matéria-prima no campo.

O objetivo desse trabalho foi analisar o impacto que as inserções de tecnologias utilizadas na colheita da cana-de-açúcar trouxeram melhoras nos índices de produtividade, redução das perdas da cana-de-açúcar (matéria-prima no campo), e melhorando a qualidade da matéria-prima entregue na indústria.

REVISÃO DE LITERATURA

A cana-de-açúcar

De acordo com Silva, Alves e Freitas (2017), os maiores estados produtores de cana-de-açúcar são: São Paulo com 51,7% da área cultivada, Goiás com 9,3%, Minas Gerais com 8,9%, Mato Grosso do Sul com 7,4%, Paraná com 6,7%, Alagoas com 4,7%, e Pernambuco com 3,2%; esses estados são responsáveis por 91,9% da produção nacional.

A cana é cultivada em locais de clima tropical ou subtropical. Os pés de cana-de-açúcar são da mesma família de plantas como o milho, o arroz e a cevada. É conhecida por suas características particulares, sendo uma planta fina, de formato cilíndrico, com folhas grandes e pode alcançar até seis metros de altura (PARAIZO, 2013).

Thomas (2016) relata que o estabelecimento de lavouras ocorre a partir de segmentos do colmo denominados “toletes”. Que é composto por nós e espaço entrenós. No nó estão presentes

a gema (tecido meristemático), a zona radicular com primórdios radiculares, o anel de crescimento, a cicatriz da inserção da bainha da folha no colmo e a zona cerosa.

Produtos da cana-de-açúcar

Para Marques et al. (2018), o cultivo da cana-de-açúcar proporciona a produção de uma fonte de energia renovável e que permite a redução na emissão de gases poluentes com o grande potencial de produção de etanol. Os mesmos autores ainda afirmam que a área cultivada na safra 2017/18 deve ser estimada em torno de 10,2 milhões de hectares, e que o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância econômica e social para o agronegócio brasileiro.

Segundo UNICA (2018), o Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar do mundo, com 38,6 milhões de toneladas produzidas e 27,8 milhões de toneladas exportadas no ciclo 2017/2018 – quantias equivalentes a 20% da produção global e 45% da exportação mundial. Também é o segundo maior produtor e exportador global de etanol (ranking liderado pelos Estados Unidos). Na safra 2017/2018, o volume produzido atingiu 27,9 bilhões de litros. Outro produto importante da cana-de-açúcar é a bioeletricidade, uma energia limpa e renovável gerada a partir da biomassa da cana.

Bartaburu e Cunha (2014) apontam que os coprodutos da colheita e do processamento da cana, como o bagaço, as folhas e a palha tornaram-se a mais nova peça-chave da revolução sucroenergética. O bagaço também se apresentou como uma alternativa eficaz para a produção de etanol celulósico, isso significa a transformação da celulose em etanol.

Colheita da cana-de-açúcar

Miranda, Vasconcellos e Landell (2008) afirmam que o processo de colheita da cana-de-açúcar é subdividido em três processos – corte, carregamento e transporte, e também pode ser classificado em três modalidades:

- Sistema manual: os subsistemas de corte e de carregamento se processam manualmente podendo haver um subsistema de transporte intermediário, por tração animal ou transbordo com dispositivos específicos. Utilizados em áreas declivosas que não permitem a mecanização.
- Sistema semimecanizado: Envolve a operação de corte manual e de carregamento, nas unidades de transporte, por carregadoras mecânicas, onde o relevo não ultrapassa 20 a 25% de declividade.

- Sistema mecanizado: é utilizado cortadoras de cana inteira ou colhedoras de cana picada (colhedoras que cortam, picam, limpam parcialmente a matéria-prima e carregam na unidade de transporte) com a operação de carregamento mecânico, conforme ilustrados nas Figuras 2 e 3 (MIRANDA, VASCONCELLOS e LANDELL, 2008).

A Figura 1 ilustra o processo mecanizado, no qual a própria colhedora corta a cana-de-açúcar e carrega o transbordo.

Figura 1 - Colhedora de cana picada e transbordo



Fonte: Canal rural (2016).

A Figura 2 mostra o processo do transbordo tracionado por um trator carregando o reboque do caminhão.

Figura 2 - Processo de transbordo de cana



Fonte: Google Imagens (2016).

O processo de corte manual é caracterizado por uma série de eventos que o trabalhador braçal, de posse de uma ferramenta denominada de “folha” ou “podão”, utiliza para cortar a base

do colmo e eliminar o material vegetal sem interesse para produção de álcool ou açúcar (MIRANDA, VASCONCELOS e LANDELL, 2008). A Figura 3 mostra o processo de carregamento da cana-de-açúcar através da máquina denominada carregadeira.

Figura 3 - Carregadora de cana



Fonte: Lexicar Brasil (2014).

Delgado (1985) apud Vieira (2003), relatam que a queima da cana teve início em 1950. Nesse período com a substituição da despilha manual pela queima da cana, aumentou consideravelmente a produtividade do trabalhador braçal, ou seja, sem queima, o cortador que cortava de 1 a 2 toneladas/dia, passou a cortar entre 4 a 6 toneladas/dia.

De acordo com Silva, Alves e Freitas (2017), a introdução da colheita mecanizada de cana picada ocorreu nos anos 1960. Ela era utilizada somente em área com queima prévia da cana-de-açúcar, até o início da restrição ao procedimento pela Lei Federal n. 11.241/2002. Com melhorias nos equipamentos utilizados no processo de colheita, como a colhedora de pneus que foi alterada para as colhedoras de esteiras, os caminhões foram retirados das lavouras e adotado os transbordos, adequação da bitola do trator e transbordo e o espaçamento entre linhas para minimizar problemas com pisoteio e compactação do solo.

Ramos (2013) afirma que o sistema de colheita mecanizada da cana-de-açúcar foi desenvolvido a partir da necessidade de se realizar a colheita com maior capacidade operacional, melhorando a logística do corte e do carregamento e sua compatibilização com o ritmo da indústria.

Ramão, Schneider e Shikida (2007) realizaram um estudo de caso comparando a produtividade (toneladas colhidas) entre os métodos de colheita manual e mecanizado. Uma colhedora de cana-de-açúcar pode substituir até 56 cortadores manuais visto que os trabalhadores

braçais atingiram uma média de 0,805 toneladas/hora de corte, enquanto as colhedoras cortaram até 46,16 toneladas/hora de cana, a Tabela 1 mostra os resultados deste estudo.

Tabela 1. Evolução das toneladas colhidas por tipo de corte, Safras 1999/2000 a 2005/06

Safr	Corte Manual		Corte Mecanizado	
	Toneladas	%	Toneladas	%
1999/2000	850.360,88	70,95	348.115,32	29,05
2000/01	294.921,85	36,53	512.402,85	63,47
2001/02	371.476,58	37,14	628.782,48	62,86
2002/03	460.459,20	37,09	780.937,10	62,91
2003/04	565.484,23	38,84	890.590,53	61,16
2004/05	715.175,68	41,96	989.218,52	58,04
2005/06	556.790,15	42,89	741.480,60	57,11
Taxa de Crescimento	3,35%		15,08%	

Fonte: Ramão, Schneider e Shikida (2007).

Perdas na colheita da cana-de-açúcar

As perdas no processo de colheita da cana-de-açúcar podem ser ocasionadas por: variedade, tratos culturais, má preparação do solo, ineficiente manutenção da colhedora, técnicas inapropriadas do operador etc. (BENEDINI e SILVA, 2010).

As perdas no processo mecanizado de colheita da cana podem ser classificadas em visíveis e não visíveis:

- As perdas visíveis são aquelas que podem ser quantificadas no campo e que são constituídas por: canas inteiras, rebolos e tocos.
- As perdas invisíveis são aquelas que não podem ser quantificadas no campo e que são caracterizadas em forma de: caldo, serragem e estilhaços de cana.

As perdas invisíveis ocorrem devido as operações de corte e limpeza da cana-de-açúcar por meio dos equipamentos rotativos das colhedoras durante o processamento (NEVES, 2003).

Torres (2014) realizou um estudo analítico das perdas no processo de colheita mecanizada durante as safras 2012/2013 e 2013/2014 e constatou os seguintes resultados:

- Safra 2012/2013: analisou-se cinco frentes de colheita, sendo que a média de perda total se situou entre 2,7 e 3,0 t.ha⁻¹. A frente de colheita que atingiu o nível maior de perda (frente 5) constatou-se uma perda de 3,9 t.ha⁻¹ e tal resultado foi atribuído a falta de habilidade técnica dos operadores, mas principalmente a defasagem tecnológica das colhedoras utilizadas nessa frente de

colheita, pois as mesmas não contavam com o dispositivo de controle automático de altura do corte de base.

- Safra 2013/2014: foi analisado novamente as cinco frentes de colheita e constatou-se uma média de perda semelhante corresponde entre 2,9 e 3,1 t.ha⁻¹. A frente cinco obteve uma redução nas perdas devido a mescla de maquinário utilizada na safra.

De modo geral, o estudo apontou uma redução em 20% nas perdas do tipo toco e 40% do tipo rebolo estilhaço. Entretanto, ocorreu um aumento de aproximadamente 13% nas perdas do tipo pedaço solto mais fixo.

Qualidade da cana-de-açúcar

Segundo Drudi (2017), a operação de colheita é a responsável por grande parte dos custos e pela qualidade do produto entregue na indústria, sendo que o sistema mecanizado de colheita proporciona uma redução de custos por tonelada colhida quando comparado com o sistema manual, por ser muito mais eficiente, visto que a comparação da quantidade colhida em toneladas de cana dia de uma máquina é maior do que a de um trabalhador.

Para Delgado, Cesar e Silva (2018), as usinas que ainda não adotam o sistema mecanizado estão procurando aderir, pois uma das vantagens com relação a qualidade do processo está sendo no método de limpeza da cana, a colheita mecanizada reduziu a quantidade de impurezas minerais e orgânicas levadas para as indústrias, podendo-se estimar uma taxa de impurezas, variando de 2 a 10%. Razão pela qual, estão abandonando a utilização dos tanques de decantação da água de lavagem, o que contribui para a diminuição dos custos da usina e dos problemas ambientais. Um outro problema no processo manual é a utilização de carregadeiras, que tem um volume maior de impurezas que acompanham as canas recém-cortadas e dispostas no solo. Junto com as canas também são carregados terra, pedras, raízes, tocos, parafusos, pedaços de facões etc. O impacto das impurezas que acompanham a cana-de-açúcar na sua moagem pode produzir consequências como: aumento do consumo de energia no preparo da cana; diminuição da capacidade de extração de moagem; diminuição da capacidade de processamento dos difusores; diminuição da pureza do caldo; aumento do desgaste de equipamentos; dificuldades para tratamento do caldo; dificuldade para fabricação de açúcar de qualidade e redução do rendimento da fermentação. Gerando um aumento nos custos de produção agroindustrial.

De acordo com Martins (2016), cada vez mais estão realizando desenvolvimento nas colhedoras de cana-de-açúcar para a otimização do processo de colheita, agregando tecnologia de

ponta, dessa forma simplificando a operação de colheita. A variação da velocidade de deslocamento e a rotação do extrator primário também influenciam na qualidade da colheita, como nas impurezas e perdas vegetais, demonstrando assim, a importância de uma configuração ideal para a colheita mecanizada.

Tecnologia no processo de colheita

Segundo Giachini et al. (2016), o setor sucroalcooleiro no Brasil tem ganhado espaço no mercado em função da diversificação tecnológica e melhoria de produtividade no setor agrícola. Afirmam que um grande avanço tecnológico para a produção da cultura da cana-de-açúcar foi a substituição do sistema de colheita manual para o sistema mecanizado. A colheita mecanizada passa a suprir a escassez de mão de obra para o corte, além de possibilitar maior rendimento na colheita e menor agressão ao ambiente, ao evitar a queima da palha.

Bartaburu e Cunha (2014) afirmam que, na safra 2013/2014, 83% dos canaviais de São Paulo foram colhidos de maneira mecanizada, e ainda afirmam que uma máquina faz o trabalho de 80 cortadores.

Ripoli (2014) diz que as melhorias tecnológicas estão sendo ampliadas e que as colhedoras trazem o Controle Integrado da Altura do Corte de Base (CICB), um sistema inteligente que controla eletronicamente a pressão de apoio dos divisores de linha flutuantes, em função das irregularidades do solo. As movimentações dos divisores são captadas por sensores de posição, que irão coordenar a variação da altura do corte de base em função do alvo pré-estabelecido pelo operador, o que minimiza as perdas.

Para Drudi (2017), a qualidade do corte de base interfere no melhor aproveitamento da lavoura, com menos perdas de matéria-prima industrializável em campo, diminuindo a contaminação do material colhido com matéria estranha mineral e, ainda, garantindo as melhores condições agronômicas para a rebrota do canavial, sem reduzir a produtividade das próximas safras.

2. METODOLOGIA

Realizou-se uma entrevista com um profissional, que disponibilizou parte de uma tarde para tal, de uma empresa do setor sucroenergético, localizada no Estado de São Paulo. A entrevista informou e levantou-se as tecnologias implementadas nas colhedoras para se obter uma melhor eficiência. Além da entrevista, foram cedidos dados relativos a colheita e qualidade da matéria-prima aos pesquisadores.

Dentre os dados obtidos estão: números referentes à colheita e à qualidade da matéria-prima industrial nos últimos 8 anos, tais como índices de produtividade, avanços tecnológicos que influenciaram na melhora produtiva, etc.

Foram fornecidos dados históricos dos últimos oito anos referentes à eficiência na colheita da cana de três usinas do Estado de São Paulo, bem como resultados no tocante à qualidade da matéria-prima entregue à indústria. Esses dados foram analisados, assim avaliaram-se as melhorias obtidas pela implementação de novas tecnologias na colheita.

A empresa estudada foi mantida anônima, pelo acordo com os pesquisadores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tecnologias implementadas no processo mecanizado de colheita

De acordo com as informações obtidas, no início das operações agrícolas a empresa trabalhava com poucas colhedoras, e, conforme foi aumentando a quantidade de máquinas, foi fundamental estudar formas de medir o desempenho operacional.

Antes das implementações tecnológicas, o processo de medição dos índices produtivos era feito de forma manual. Realizavam acompanhamentos e anotações das horas de corte em folhas de papel, porém havia muitas falhas nos resultados devido a erros nesse processo.

Para acompanhar o avanço tecnológico, iniciaram a implantação de computadores de bordo nas colhedoras, contabilizando as horas de corte por meio de sensores que identificavam o momento em que o motor e os implementos do equipamento estavam ligados e desligados. No início foi observado que os dados obtidos ainda não eram confiáveis para espelhar a operação do campo, pois nem todo momento em que o equipamento estava com o motor e os implementos ligados significava que a colhedora estava cortando cana.

Após algumas pesquisas, a empresa em questão encontrou uma tecnologia do computador de bordo mais avançada, originada do Canadá, a qual se mostrou mais eficiente e eficaz diante do cenário. Essa tecnologia funciona por meio de comunicação via GPRS. Com a possibilidade de novas funcionalidades que ampliaram a visualização das operações no campo, com melhoria nas soluções existentes (FUT – Fila Única de Transbordos e CDC – Certificado Digital de Cana) e uma melhor interface com a operação, espelhando de forma automática tudo que o equipamento está realizando, proporcionando assim, um monitoramento em tempo real. Tais recursos possibilitaram o aumento de produtividade com a previsibilidade e antecipação de situações que pudessem impactar na eficiência da operação. Assim, a análise dos resultados tornou-se mais confiável,

eliminando falhas operacionais e padronização de processos, resultando em redução de tempo perdido durante a operação de colheita no campo.

Com isso, foi criada uma central com uma equipe responsável por validar, acompanhar e fornecer “*inputs*” da visão geral da operação no campo para os gestores responsáveis pelo processo de corte de cana, como por exemplo: redução do tempo de manobra, utilização do RTK, ajuste de velocidade dos equipamentos, entre outros. Tais informações contribuíram para o aumento de produtividade e qualidade nas operações de colheita.

Segundo entrevista com o especialista da empresa do setor sucroenergético, as tecnologias agregadas podem ser divididas da seguinte maneira: Tecnologias que contribuíram para melhorar a produtividade e as que contribuíram para melhorar a qualidade e a redução de perdas.

Tecnologias que contribuíram no aumento da produtividade

Primeiro foi a implantação das máquinas alternadas (colhem 2 linhas de cana ao mesmo tempo), o que gerou um aumento de 35 a 40% de produtividade de toneladas de cana/ hora (ton/hra).

O computador de bordo (concebido há 13 anos), que foi usado para monitorar tempos, movimentos, velocidade, o que gerou um aumento de 15% de produtividade por gestão do tempo.

Em seguida foi realizada a implantação do FUT (fila única de transbordo - concebido há 4 anos), que melhorou o tempo operacional das colhedoras. É um sistema que utiliza algoritmos e sensores para otimizar o uso dos equipamentos durante a colheita. Essa tecnologia garante o fluxo constante dos tratores para as colhedoras, evitando a parada destas por falta de tratores. É uma solução implantada que tem detecção automática da percentagem de enchimento dos caixotes dos transbordos, e assim informa via computador de bordo o próximo trator na fila para se deslocar até a máquina. O sistema otimizou o manejo dos transbordos, aumentando o nível de serviço dos transbordos em média de 94% para 97%. Obteve-se um aumento na produtividade, de 500 toneladas de cana máquina para 700 ton/maq, com a utilização do FUT e a gestão de velocidade.

Mesmo após a implantação dessas tecnologias, como cada usina recebia os relatórios de vários dias e existia um monitoramento de forma descentralizada, cada uma tomava uma estratégia diferente. Para resolver esse problema, em 2016 foi criado a CIA (Central de Integração Agroindustrial) em um prédio administrativo, onde há vários analistas que fornecem inputs para o campo das informações em tempo real, para uma melhor tomada de decisão, atuando no momento e na causa do problema. A CIA utilizou as tecnologias existentes para agir em cima da informação

prontamente. O que conseqüentemente contribuiu para o aumento de uma média de 10 horas de corte/máq/dia para 15 horas de corte/máq/dia. Evolução essa em virtude da melhor utilização da tecnologia.

Tecnologias que contribuíram na melhora da qualidade e redução de perdas

O Copiador automático de corte de base (CACB) mede a altura adequada do corte do tolete da cana de açúcar, pois o solo é diferente em cada local, portanto há uma variação e desnivelamento. O foco é garantir a altura do toco, que contribui para redução de perdas e de impureza mineral.

O Copiador inteligente do Corte de Base (CICB) é complementar ao CACB. Além de copiar a altura do corte, também copia os divisores de linhas, ajusta os divisores de linha, diminuindo a quantidade de cana perdida.

O VORTEX é uma tecnologia implantada no extrator primário. Reduz a quantidade de cana perdida por estilhaços.

O Posicionamento Cinemático em Tempo-Real é uma técnica de posicionamento relativo utilizada por sistemas como GPS (RTK: *Real-time Kinematic*), é um “GPS” de navegação que mostra as linhas de cana para a colhedora cortar, fornece um posicionamento com precisão, tem um erro de 2 cm. Tal precisão é obtida medindo os tempos de envio do sinal e depois calculando o tempo que ele leva para fazer a viagem de volta. Essa tecnologia implantada nas colhedoras reduziu o pisoteio. O pisoteio representa uma perda de 15 a 20% de TCH (tonelada de cana por hectare).

Já o RTX determina uma margem de erro de 6 a 8 cm e não precisa de uma base fixa, enquanto no sistema RTK são utilizados dois receptores, sendo um deles estacionário e chamado de "estação base" (geralmente fica em um ponto de coordenadas conhecidas), o outro é o "rover", que fica junto ao usuário executando a coleta de dados.

Eficiência produtiva na colheita

No decorrer da última década, a empresa paulista realizou grandes investimentos tecnológicos no campo para maximizar a sua eficiência na colheita. Os dados apresentados na Tabela 2 contemplam a evolução da produtividade (tonelada de cana colhida por máquina no dia – tc/máq/dia) e o índice de crescimento de três usinas do grupo sucroenergético.

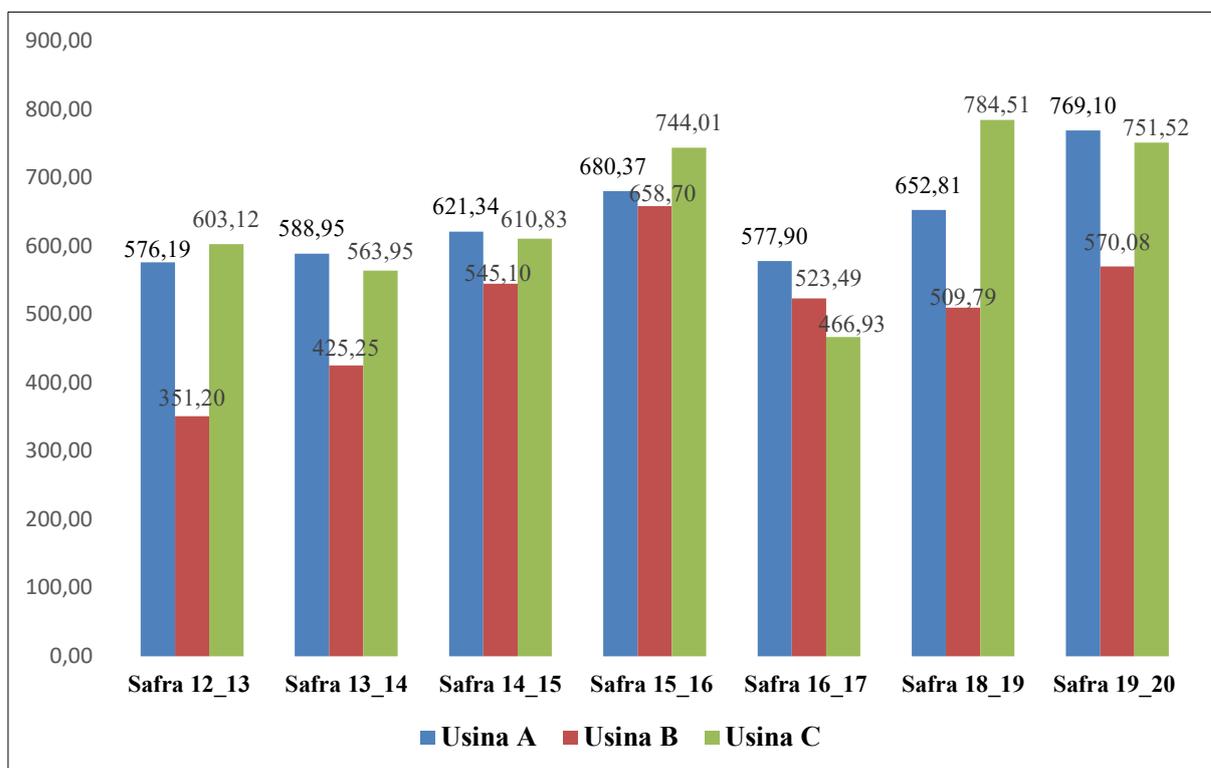
Tabela 2 - Evolução da produtividade efetiva (tc/máq/dia) pelas Usinas A, B e C

Usinas	Safra 12_13	Safra 13_14	Safra 14_15	Safra 15_16	Safra 16_17	Safra 18_19	Safra 19_20	Inicial e Final (%)
Usina A	576,19	588,95	621,34	680,37	577,90	652,81	769,10	33,48
Usina B	351,20	425,25	545,10	658,70	523,49	509,79	570,08	62,32
Usina C	603,12	563,95	610,83	744,01	466,93	784,51	751,52	24,60

Fonte: Autores.

O Gráfico 1 apresenta a evolução da produtividade (tonelada de cana colhida por máquina no dia – tc/máq/dia) de três usinas do grupo sucroenergético no período de abril a novembro entre as safras 2012/13 e 2019/20.

Gráfico 1 - Evolução da produtividade efetiva (tc/máq/dia) pelas Usinas A, B e C



Fonte: Autores.

O Gráfico 1 mostra que no decorrer das últimas 7 safras ocorreu uma melhora na produtividade efetiva das usinas da empresa, porém com uma oscilação na safra 2016/17. Isso deve-se ao fato de que a empresa paulista deu início à safra no mês de março e, além disso, a seca da safra contribuiu para essa baixa.

A partir da safra 2012/13 passaram a ser utilizadas em campo as máquinas alternadas, as quais podem colher duas linhas de cana ao mesmo tempo. Essa implementação tecnológica elevou os níveis de produtividade efetiva das colhedoras, fazendo com que ocorresse um aumento gradativo do índice produtivo. Além disso, no ano de 2013 foi implementado nas colhedoras o computador de bordo para gerir as horas de corte de cana-de-açúcar com análises de corte, movimento, velocidade etc.

Levando em consideração as duas extremidades do gráfico, temos os seguintes resultados:

- Usina A: sua colheita na safra 2012/13 era de 576,19 toneladas/máquina/dia, sendo que na safra 2019/20 passou a colher 769,10 toneladas/máquina/dia. Ou seja, com todas as implementações tecnológicas nesse período a Usina A elevou a produtividade efetiva em 33,48%.

- Usina B: sua colheita na safra 2012/13 era de 351,20 toneladas/máquina/dia, sendo que na safra 2019/20 passou a colher 570,08 toneladas/máquina/dia, uma elevação da produtividade efetiva em 62,32%.

- Usina C: sua colheita na safra 2012/13 era de 603,12 toneladas/máquina/dia, sendo que na safra 2019/20 passou a colher 751,52 toneladas/máquina/dia, ou seja, a tecnificação elevou a produtividade efetiva em 24,61%.

De modo geral, as três usinas elevaram o seu índice produtivo efetivo, sendo que a usina que apresentou maior ganho percentual foi a Usina B. A empresa paulista alcançou um aumento médio na somatória das usinas analisadas de 40,13% de acordo com o índice de crescimento apresentado na Tabela 2.

A Tabela 3 mostra a evolução de horas de corte das máquinas no dia (hrs/dia) e o índice de crescimento das três usinas estudadas.

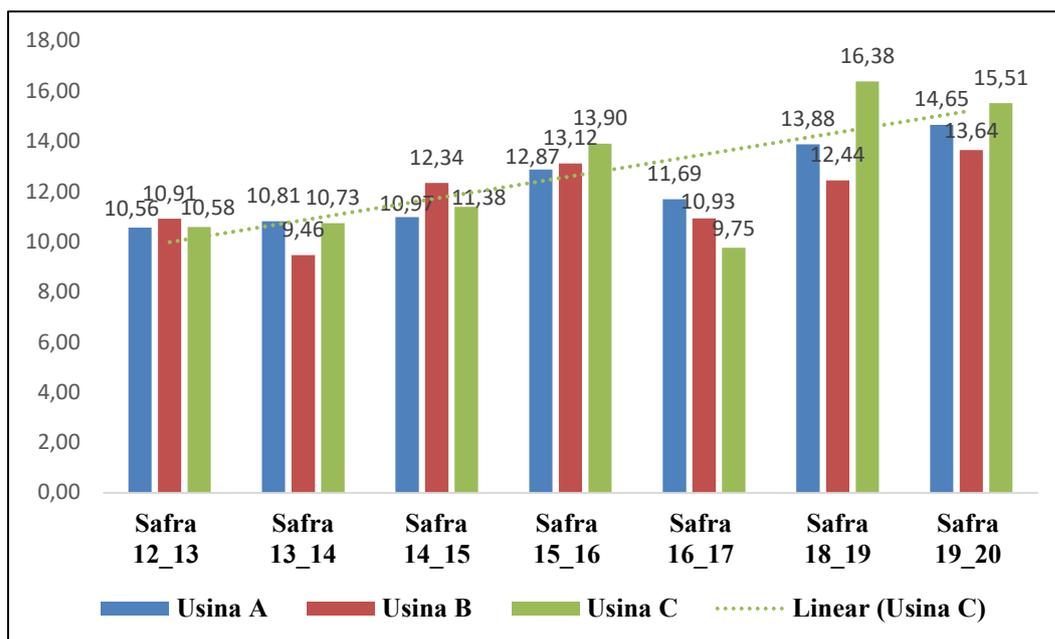
Tabela 3 - Evolução das horas de corte das colhedoras nas Usinas A, B e C

	Safra 12_13	Safra 13_14	Safra 14_15	Safra 15_16	Safra 16_17	Safra 18_19	Safra 19_20	Inicial e Final (%)
Usina A	10,56	10,81	10,97	12,87	11,69	13,88	14,65	38,73
Usina B	10,91	9,46	12,34	13,12	10,93	12,44	13,64	25,02
Usina C	10,58	10,73	11,38	13,90	9,75	16,38	15,51	46,60

Fonte: Autores.

O Gráfico 2 apresenta a evolução das horas de corte das colhedoras nas Usinas A, B e C no período entre a safra 2012/13 e 2019/20.

Gráfico 2 - Evolução das horas de corte das colhedoras nas Usinas A, B e C



Fonte: Autores.

Uma máquina ociosa é considerada sinônimo de ineficiência, logo, a empresa paulista se preocupou em manter as colhedoras trabalhando sem que houvesse paradas desnecessárias durante a colheita. Para isso, a empresa adotou a tecnologia FUT, que se trata de um sistema de algoritmos e sensores que otimizaram o uso dos equipamentos durante a colheita. Ele garante o fluxo constante dos tratores para as máquinas colhedoras, evitando assim, as paradas indesejadas.

Além do FUT, a empresa paulista desenvolveu a CIA, uma central de integração que avalia o tempo de máquina parada, seja ela por problema operacional ou manutenção, e realiza toda a gestão desse tempo ocioso para mantê-lo o menor possível.

O Gráfico 2 mostra um crescente desde a safra 2012/13 das três usinas analisadas, embora a safra 2016/17 tenha sido mais seca e iniciado um mês antes – motivo este da oscilação na safra em questão.

- A Usina A com a implementação do FUT e da CIA obteve um aumento de 4,09 horas/dia de corte por máquina no campo analisando todo o período entre as safras 2012/13 e 2019/20, o equivalente a 38,73% que influencia diretamente no índice produtivo da usina.
- A Usina B aumentou a operação das suas máquinas em 2,73 horas/dia analisando todo o período entre as safras 2012/13 e 2019/20, o equivalente a 24,66%.
- A Usina C alcançou a marca de 4,93 horas/dia de corte por máquina no campo

analisando todo o período entre as safras 2012/13 e 2019/20, o equivalente a 46,60%, ou seja, o maior saldo positivo entre as três usinas.

De acordo com os dados, a empresa obteve um aumento médio de 36,78%, portanto, evidencia-se que esse aumento de operação de corte em horas/dia das máquinas contribuiu diretamente para o aumento da produtividade da empresa paulista.

A Tabela 4 apresenta a evolução do nível de serviço dos transbordos e o índice de crescimento em percentual de três usinas do grupo sucroenergético.

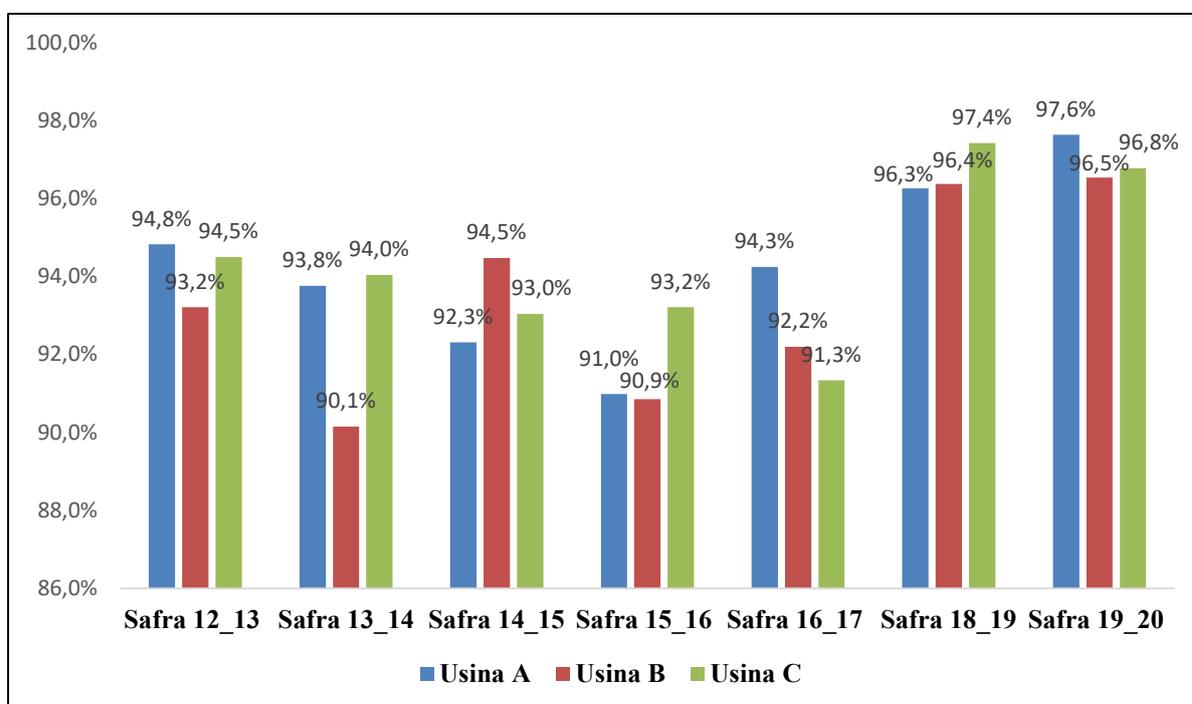
Tabela 4 - Evolução do nível de serviço dos transbordos das Usinas A, B e C

	Safra 12_13	Safra 13_14	Safra 14_15	Safra 15_16	Safra 16_17	Safra 18_19	Safra 19_20	Média do período (%)
Usina A	94,8%	93,8%	92,3%	91,0%	94,3%	96,3%	97,6%	2,95
Usina B	93,2%	90,1%	94,5%	90,9%	92,2%	96,4%	96,5%	3,50
Usina C	94,5%	94,0%	93,0%	93,2%	91,3%	97,4%	96,8%	2,43

Fonte: Autores.

O Gráfico 3 mostra a evolução do nível de serviço dos transbordos (%) das Usinas A, B e C no período entre a safra 2012/13 e 2019/20.

Gráfico 3 - Evolução do nível de serviço dos transbordos (%) das Usinas A, B e C



Fonte: Autores.

O nível de serviço do transbordo é de extrema importância para a eficiência da colheita, pois se uma colhedora parar por falta de transbordo, isso pode impactar diretamente na produtividade efetiva da máquina.

A empresa paulista adotou a tecnologia conhecida como FUT, para que esse nível se manteve elevado, trabalhando próximo de 100%.

De modo geral esse índice sempre foi alto (acima 90%) nas três usinas analisadas, porém a empresa buscou a elevação desse índice para próximo do 100% de utilização.

- A Usina A aumentou em 2,8% o seu nível de utilização do transbordo entre as safras 2012/13 e 2019/20.
- A Usina B aumentou em 3,3% o seu nível de utilização do transbordo entre as safras 2012/13 e 2019/20.
- A Usina C aumentou em 2,3% o seu nível de utilização do transbordo entre as safras 2012/13 e 2019/20.

Apesar de uma variação numérica baixa, esse nível contribuiu para a elevação da produtividade efetiva da empresa paulista pois as usinas apresentaram um aumento médio de 2,96% de disponibilidade de transbordo para as colhedoras em campo.

Diminuição de impureza mineral na matéria-prima

As melhorias tecnológicas implementadas pela empresa paulista, também focaram na redução das impurezas geradas no campo que por consequência chegava à indústria. Foi constatada pelos dados abaixo a redução de impureza mineral (kg/tc) no período entre as safras 2012/13 e 2019/20 (de abril a novembro) nas três usinas analisadas no artigo conforme apresentado na Tabela 5.

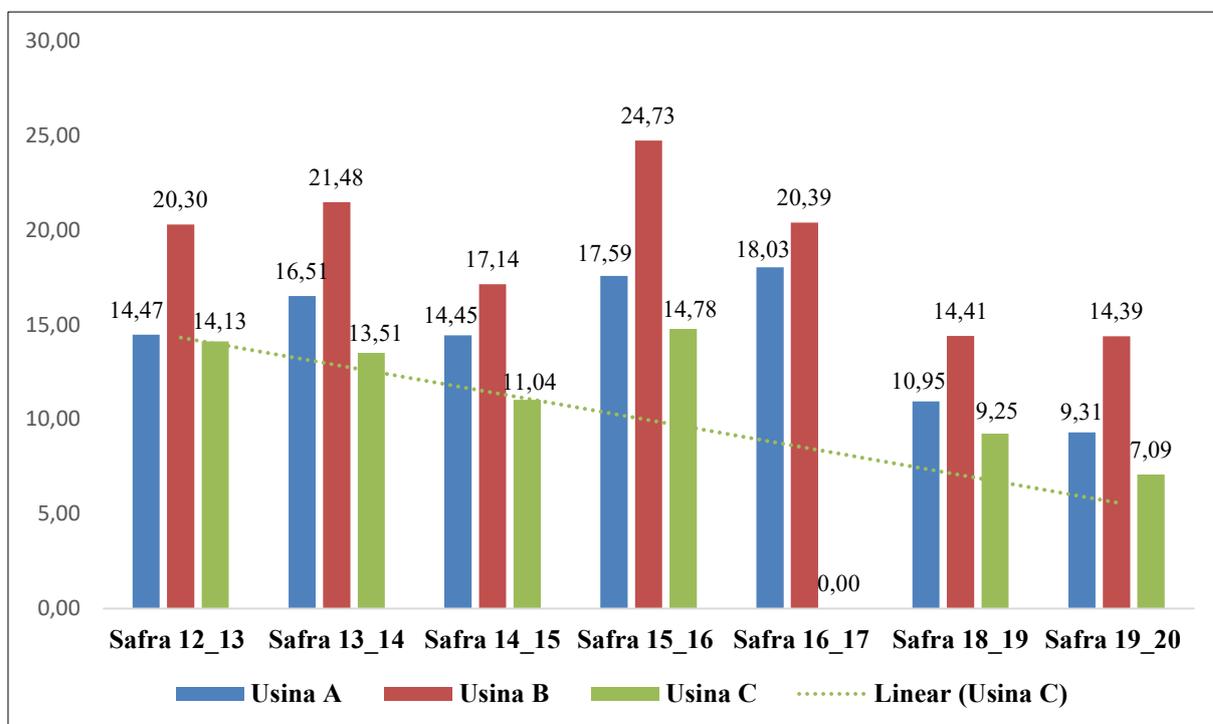
Tabela 5 - Diminuição de impureza mineral (kg/tc) no campo pelas Usinas A, B e C

	Safra 12_13	Safra 13_14	Safra 14_15	Safra 15_16	Safra 16_17	Safra 18_19	Safra 19_20	Diminuição média (%)
Usina A	14,47	16,51	14,45	17,59	18,03	10,95	9,31	35,66
Usina B	20,30	21,48	17,14	24,73	20,39	14,41	14,39	29,11
Usina C	14,13	13,51	11,04	14,78	0,00	9,25	7,09	71,67

Fonte: Autores.

O Gráfico 4 mostra a redução de impureza mineral em kg/tc no campo pelas três usinas estudadas no período entre a safra 2012/13 e 2019/20.

Gráfico 4 - Redução de impureza mineral (kg/tc) no campo pelas Usinas A, B e C



Fonte: Autores.

A empresa paulista durante o período analisado adotou a tecnologia CACB – Copiador Automático de Corte de Base que é um dispositivo que mede a altura de corte e faz a adequação do mesmo. A partir da safra 15/16 a tecnologia CICB – Copiador Inteligente do Corte de Base se tornou mais eficiente. O equipamento ao realizar o ajuste de corte, contribui para a redução de impurezas levadas junto com a matéria-prima.

Nas últimas duas safras o índice de impurezas minerais foi reduzido nas três usinas da empresa, mantendo um nível baixo em relação as demais safras analisadas no gráfico, visto que:

- Usina A: houve uma redução de 39,27% nas impurezas entre as safras 2016/17 e 2018/19.
- Usina B: houve uma redução de 29,33% nas impurezas entre as safras 2016/17 e 2018/19.
- Usina C: houve uma redução de 37,42% nas impurezas entre as safras 2016/17 e 2018/19.

Verificou-se através dos dados obtidos que a empresa paulista atingiu um nível médio de redução de 45,48% das impurezas no processo de colheita das usinas em destaque no estudo.

As tecnologias influenciaram e contribuíram de modo eficaz para a redução das impurezas minerais, visto que as três usinas analisadas alcançaram reduções acima de 25% do que era encaminhado a indústria em um curto período, visto que, a análise realizada foi em um intervalo de dois anos de safras.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a implementação de tecnologias foi importante para elevar a eficiência da empresa paulista, pois os resultados obtidos comprovam o aumento de produtividade e a redução das impurezas.

A introdução das máquinas com o computador de bordo, trouxe maior benefício produtivo, aumentando em 40,14% a produtividade das usinas analisadas.

A implementação do FUT, e da CIA, aumentou o tempo de operação das máquinas/hora/dia em 36,66%.

A tecnologia que mais contribuiu para a diminuição das impurezas foi o CACB junto com o CICB, diminuindo em 35,34% as impurezas minerais nas usinas A, B e C.

As inserções de tecnologias utilizadas na colheita da cana-de-açúcar trouxeram melhoras nos índices de produtividade, redução das perdas da cana-de-açúcar e melhoram a qualidade da matéria-prima entregue na indústria. Os impactos das tecnologias implantadas foram positivos, tanto para a colheita como para a indústria sucroenergética.

REFERÊNCIAS

BARTABURU, Xavier; CUNHA, Valdemir. *Cana-de-açúcar - Sugarcane*: 1 ed. São Paulo: Origem, p. 40-44, 2014.

BENEDINI, M.S.; SILVA, A. L. Perdas de cana na colheita mecanizada. *Canavieiros: a força que movimenta o setor*. Sertãozinho, v. 5, n. 48, p. 28-31, 2010.

DRUDI, Fernanda Scaranello. *Parâmetros para a padronização dos ensaios de colhedora de cana-de-açúcar para avaliação de seu desempenho Energético*. Dissertação (Mestrado), 2017 - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/151676>. Acessado em: 24 abr. 2019.

GIACHINI, Camillo Ferrarezi; RAMOS, Carlos Renato Guedes; LYRA, Gabriel Albuquerque de; GAMERO, Carlos Antonio; LANÇAS, Kleber Pereira. Consumo de combustível e perdas de cana-

de-açúcar durante a colheita diurna e noturna. *Revista Energia na Agricultura*, v. 31, n. 1, 2016. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/864>. Acessado em: 18 abr. 2019.

LOPES, Cláudio Hartkopf (Org). *Tecnologia de Produção de Açúcar de Cana*. São Carlos: EdUFSCar, 2016.

MARQUES, Tadeu Alcides; MELO, Bruno de Lima; JÚNIOR; Antonio Fluminhan; SILVA, Paulo Antonio da. Biofábricas de mudas de cana-de-açúcar. *Bioenergia em revista: Diálogos*, Piracicaba, v. 8, n. 2, 2018. Disponível em: <http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/263/pdf>. Acessado em: 18 abr. 2019.

MARTINS, Murilo Battistuzzi. *Desempenho efetivo e influência no sistema de limpeza da colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário*. Dissertação (Mestrado), 2016 - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/137867>. Acessado em: 24 abr. 2019.

MIRANDA, Leila Luci Dinardo; VASCONCELOS, Antonio Carlos Machado; LANDELL, Marcos Guimarães de Andrade. *Cana-de-açúcar*. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 671 – 673, 2008.

NEVES, J. L. M. *Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução*. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PARAIZO, Diego. Cana-de-Açúcar - tudo sobre esta versátil planta. *Nova Cana*, 2013. Disponível em: <https://www.novacana.com/busca?query=Cana-de-A%C3%A7%C3%BAcar%20%E2%80%94%20Tudo%20sobre%20esta%20vers%C3%A1til%20planta>. Acessado em: 09 abr. 2019.

RAMÃO, Fernanda Pamplona; SCHNEIDER, Iara Elisa; SHIKIDA, Pery Francisco Assis. Padrão Tecnológico no Corte de Cana-de-Açúcar: Um estudo de caso no Estado do Paraná. São Paulo: *Revista de Economia Agrícola*, 2007. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/REA-0607n8_000fxevywp02wyiv80soht9h5cv03gh.pdf. Acesso em: 22 nov. 2019.

RAMOS, Carlos Renato Guedes. *Desempenho operacional da colheita mecanizada de Cana-de-açúcar (saccharum spp.) em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora*. Dissertação (Mestrado), 2013 - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90618/ramos_crg_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acessado em: 20 nov. 2019.

RIPOLI, Marco Lorenzo Cunali. *O Desenvolvimento tecnológico na mecanização da colheita da cana-de-açúcar*. 2014. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/cana/maquina-agricola/tecnologia-mecanizacao-colheita-cana-210814>. Acessado em: 08 abr. 2019.

SANTIAGO & CINTRA Geo-Tecnologias. *Como funciona o sistema RTK (Real Time Kinematic)*. Disponível em: <https://www.santiagoocintra.com.br/blog/geo-tecnologias/como-funciona-o-sistema-rtk-real-time-kinematic-y>. Acessado em: 20 nov. 2019.

SILVA, Fábio Cesar; ALVES, Bruno José Rodrigues; FREITAS, Pedro Luiz. *Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos* – Brasília, DF: Embrapa, p. 350, 531 e 559, 2017.

THOMAS, Andre Luis. *Desenvolvimento da planta de cana-de-açúcar*. UFRGS Lume Repositório Digital, p. 55 e 56, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/147567>. Acessado em: 18 abr. 2019.

TORRES, Luma Stefania. *Controle estatístico de processo aplicado ao monitoramento de perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado), 2014 - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/113782/000801679.pdf>. Acessado em: 16 nov. 2019.

UNICA – *União da indústria de cana-de-açúcar* (2018). Fotografia do setor sucroenergético. Disponível em: <http://www.unica.com.br/documentos/documentos/cana-de-acucar/>. Acessado em: 19 abr. 2019.

VIEIRA, Gilberto. *Avaliação do custo, produtividade e geração de emprego no corte de cana-de-açúcar, manual e mecanizado, com e sem queima prévia*. Dissertação (Mestrado), 2003 - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90605/vieira_g_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acessado em: 20 nov. 2019.

1 MAZZONETTO, Alexandre Witier possui Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas - FEAGRI/UNICAMP. Mestrado em Engenharia Agrônômica - Máquinas Agrícolas/Biomassa - Colheita Integral de Cana Crua, pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP. Doutorando pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - Departamento de Energia - FEM/UNICAMP (Caracterização e potencial energético de biomassas residuais da região de Piracicaba - SP). Na Graduação envolveu-se em Pesquisa/Desenvolvimento de processos térmicos, desenvolvendo um secador rotativo de sementes e outro de leite fluidizado. Desde o Mestrado vem trabalhando com fontes renováveis de energia e biomassas residuais (tratamento e geração de energia); levando-o a cursar Química na Universidade Mackenzie (Bacharel, Licenciatura e Industrial). Processos térmicos para obtenção de biocombustíveis, gaseificação, pirólise e combustão/incineração, e combustíveis sustentáveis, gás de síntese (Syngas), produção e uso do biogás - biodigestão anaeróbia de diversas biomassas residuais. Professor na FATEC Piracicaba (Biocombustíveis e Gestão Empresarial).

2 GONÇALVES, Eloy Peres é graduado em Tecnologia em Gestão Empresarial pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”. Na graduação desenvolveu pesquisas sobre processos agrícolas aspirando compreender as tecnologias aplicadas durante o decorrer dos anos, evidenciando os bons resultados dessas aplicações. É eletricista de manutenção na Hyundai Motors Brasil.

3 SOARES, Sabrina Stefani possui graduação em Logística pela Faculdade de Tecnologia de Piracicaba – Fatep, na qual se envolveu em pesquisa para análise dos processos da gestão de estoque e suprimentos da Fitassul, uma loja *in company*. Graduada em Gestão Empresarial pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan” desenvolvendo pesquisas sobre os processos de colheita visando compreender o impacto das tecnologias aplicadas no decorrer dos anos, evidenciando os bons resultados dessas aplicações. Atua como analista de desenvolvimento logístico da Raízen.