

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE INTELIGÊNCIA LOGÍSTICO OPERACIONAL DE TRANSPORTE DE CANA-DE-AÇUCAR (SACCHARUM OFFICINARUM) NO MUNICÍPIO DE OURINHOS-SP

Ronaldo Oliveira Domingos¹; Roberta Alves de Abreu da Silva²; Sidney Ferrari³

Resumo

O presente artigo mostra como podemos usar a tecnologia para auxiliar na produção da cana-de-açúcar, o processo visa otimizar a produtividade, eficiência e qualidade da colheita, e essa etapa é importante para a organização da logística e o transporte da cana para a usina. É fundamental que esse transporte ocorra de forma rápida e eficiente, minimizando o tempo de espera da cana nos veículos e evitando perdas do material colhido. O CTT é para garantir a entrega da cana na usina no momento certo e mostra-se a vantagem de utilizar o sistema inteligente. Isso permite obter dados em tempo real sobre a situação da logística, dessa forma, o software contribuiu para um controle mais preciso durante a safra, melhorando o escoamento dos caminhões pela frente de colheitas e otimizando o fluxo logístico.

Palavras-chave: Organização; racionalização; controle.

Abstract

This study shows how it can help in the production of sugar cane. The process is meant to optimize the productivity, efficiency, and quality of the harvest. This stage is very important for the organization of logistics and for the transport of sugarcane to the plant. It is fundamental that the transport occur in a fast and efficient manner, decreasing the waiting time of the vehicles and avoiding loss of raw material. CTTs are meant to ensure the delivery of the sugar cane at the plant at the right time, proving that the use of the system is an intelligent choice. The system allows real-time logistics data collection, which contributes to a more precise control of tasks during the harvest period, improving the truck flow and optimizing the logistics flow.

Keywords: Organization; rationalization; control.

1 Introdução

A Cana-de-açúcar tem desempenhado um papel importante para o Brasil e para o mundo, essa importância se dá na área econômica, cultural, social e energética. Sua produção eficiente é fundamental para impulsionar o setor. Ela pode ser a base de uma revolução na forma de produzir no Brasil e no mundo. É limpa, viável e de qualidade. O registro do que faz e pode fazer por esta nação é mais do que necessário, já que acarreta discutir toda a inovação que esta planta promove. Ela também é um incrível exemplo de como o investimento em pesquisa, desenvolvimento e tecnologia é o alicerce para eficiência e a melhoria da produtividade.

A estimativa de produção de cana-de-açúcar no Brasil para a safra 2023/24 indica uma

¹ Graduado em Agronegócio pela Faculdade de Tecnologias de Ourinhos-FATEC. E-mail: ronaldo.domingos@fatec.sp.gov.br.

² Graduada em Agronegócio pela Faculdade de Tecnologias de Ourinhos-FATEC. E-mail: roberta.silva16@fatec.sp.gov.br.

³ Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos-UFSCar; professor da Faculdade de Tecnologia de Ourinhos-FATEC-Ou. E-mail: ferrarisc@gmail.com.

produção de 652,9 milhões de toneladas, ocupando uma área de 8.288,3 milhões de hectares, com produtividade de 78.779 toneladas por hectare. Na região Centro-Sul, a estimativa de produção é de 514.532.300 toneladas, em uma área de 7.211.890 hectares, com produtividade de 71,34 toneladas por hectare CONAB, (2023).

O índice de colheita mecanizada safra 2023/24 atingiu 92,4% no Brasil, destacando-se a região Centro-Sul com 98,6% de mecanização em seus canaviais. O processo de mecanização da colheita da cana-de-açúcar torna-se menos agressivo para a atmosfera e contribui para uma melhor conservação do solo em função da camada de palha que é depositada sobre o solo no momento da colheita, além de redução de custos quando comparado ao sistema de colheita manual CONAB, (2023).

Uma das operações mais custosas de uma usina é sem dúvida o CTT (colheita, transbordo e transporte). O principal objetivo deste processo é fazer com que a cana-de-açúcar chegue na usina, no momento certo (linearidade), com uma boa qualidade tecnológica (ATR⁴, Pol⁵, Pureza⁶) e com o menor custo possível. Para isso acontecer, a operação deve focar em reduzir desperdícios, como por exemplo, deslocamentos de máquinas, tempos improdutivos e mudanças de frentes de colheita de forma desnecessárias. Péra *et al*, (2018).

Com isso vemos a necessidade de avaliar a eficiência dos caminhões canavieiros desse processo, com sistema inteligente logístico operacional. A utilização de computadores de bordo e telemetria nos caminhões, possibilita o monitoramento online, trazendo dados referentes à localização, e busca identificar o estado operacional (trabalhando ou parado), velocidade, RPM, motor ocioso e eficiência, de maneira individualizada.

Desta forma, conhecer os sistemas de monitoramento é indispensável para que se possa tomar as decisões corretas, permitindo a correção dos desvios operacionais em função dos indicadores planejados.

Diante dos diferentes indicadores analisados para encontrar a eficiência do sistema inteligente logístico, é necessário avaliar quais foram os resultados obtidos com o sistema, proporcionando assim dados de maior produtividade que o diferencie.

Devido à alta do uso da tecnologia ao auxílio na produção de cana-de-açúcar, para geração de dados e tomadas de decisões e aumento na produtividade da lavoura, se faz necessário

⁴ Açúcar Total Recuperável: indica a quantidade de açúcar que pode ser efetivamente extraída da cana.

⁵ Polarização: representa a porcentagem de sacarose na cana, medida com um polarímetro. É uma indicação da qualidade da cana, pois a sacarose é o principal tipo de açúcar extraído.

⁶ Relação entre a quantidade de sacarose (Pol) e os sólidos solúveis totais (BRIX) na cana, expressa como uma porcentagem. Indica o grau de pureza do caldo da cana e é um indicador importante da eficiência do processamento industrial da cana para a produção de açúcar.

estudos que determinem a eficiência do sistema inteligente logístico. E sendo uma das operações mais custosa de uma usina de cana-de-açúcar, é importante manter-se o monitoramento dessa operação, para que se tenham um controle significativo durante o período das safras, melhorando o escoamento dos caminhões pelas frentes de colheitas.

O objetivo geral é avaliar por meio dos dados gerados nos períodos de safra, o impacto desse sistema na eficiência operacional dos caminhões de cana-de-açúcar em usina da região de OURINHOS-SP.

Para tanto foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: Coletar e analisar os dados e parâmetros de quatro anos de safras da usina de origem; realizar a instalação do sistema inteligente logísticos; monitoramento em tempo real deslocamento e tempo ocioso dos caminhões.

2 Revisão da literatura

Em estudo realizado por Vian e Marin (2022), ficou evidenciado que o sistema de inteligência logístico no transporte de cana-de-açúcar, permita-se que o carregamento aconteça com a quantidade ideal de cana a ser transportada do campo para a usina. O resultado pode ter interferência nas condições ambientais e melhorias na eficiência desses veículos. Sendo assim, resultando em um aumento significativo na produtividade, reduzindo o tempo de espera, custos operacionais e os impactos ambientais negativos.

Para os autores como Iannoni e Morabito (2002), o despacho de caminhões no transporte de cana-de-açúcar é muito importante para a usina, pois resulta no abastecimento da moenda, para não deixar faltar cana na indústria, com isso, eles surdiram um modelo de simulação que foi construído no software Arena e aplicado na prática. Com esse modelo, diferentes estilos de transporte de cana-de-açúcar foram testados, os resultados obtidos mostraram que o modelo é capaz de representar satisfatoriamente o sistema, gerando dados que podem ser interpretados e avaliados para se saber qual é o mais eficiente para se garantir o abastecimento da indústria, com isso ser levado ao hilo e moída para garantir o seu funcionamento. O sistema mostrou que todos os treminhões desengatam seus conjuntos julieta no estoque do pátio, apresenta o melhor desempenho do ponto de vista da quantidade média de cana em espera no pátio da usina.

Ressalta-se ainda Soares (2022), um sistema de monitoramento automatizado estabelece diversos dados, auxiliando o gestor na tomada de decisão, por possuir uma plataforma inteligente de relatórios operacionais e gerencias, o que permite um melhor gerenciamento sobre os elos de cadeia de produção, potencializando a produção. Com o aumento da eficiência dos caminhões de cana-de-açúcar, a otimização de tempo e recursos humanos, além de redução

de custos operacionais dos caminhões, a equipe gerencial conquista um melhor processo de gestão e decisão.

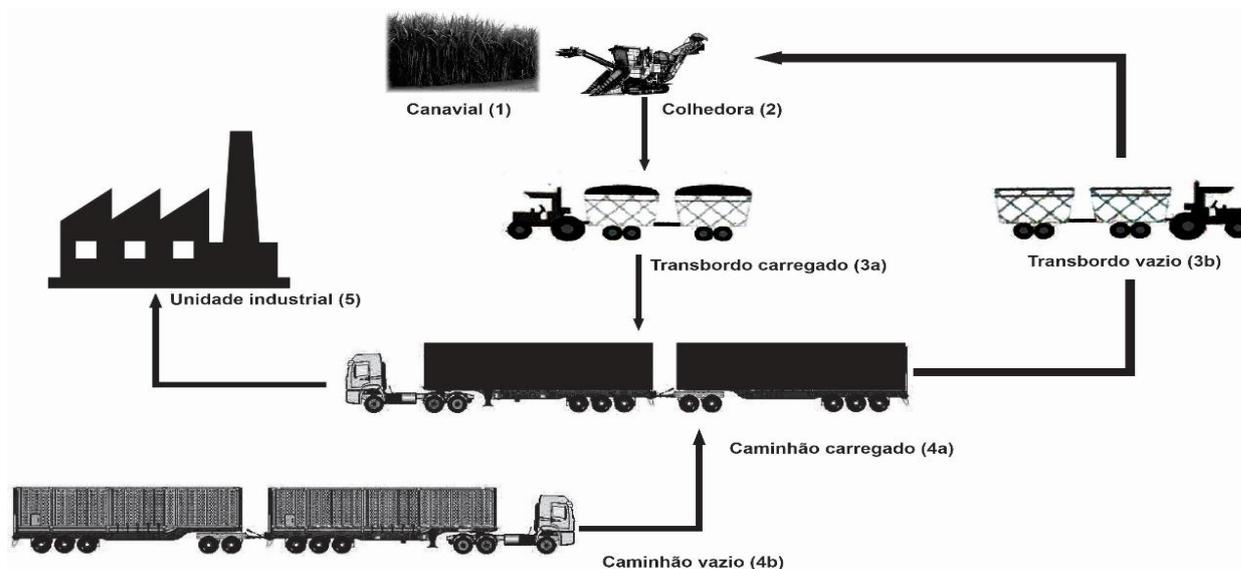
De acordo com Santos (2021), o transporte de cana-de-açúcar é uma das etapas importante de uma indústria, pois é responsável em levar a cana crua, que é retirada do campo e transportada até a indústria para suprir a demanda dela. Por isso é fundamental monitorar continuamente os caminhões no transporte de cana-de-açúcar para evitar custos adicionais e garantir o abastecimento eficiente da indústria.

Este estudo investiga os impactos da implementação do sistema inteligente logístico Flow em uma usina de cana-de-açúcar no interior de São Paulo, comparando períodos antes e depois da adoção desse sistema. Diferencia-se dos trabalhos revisados na literatura por sua abordagem específica da aplicação do sistema em questão e pela análise detalhada dos resultados obtidos.

3 Metodologia

O estudo foi conduzido em uma usina de cana-de-açúcar, localizada no município de Ourinhos, no Interior do Estado de São Paulo, durante as safras dos anos de 2018/2019 e 2022/2023. Nas safras dos anos 2018/2019 a usina de estudo não utilizava o sistema inteligente logístico Flow, em julho de 2022, foi o período que a usina implantou, e os motoristas receberam treinamentos para operar o monitor e se habituar com a nova tecnologia, onde a equipe juntamente com técnicos do Centro de Operações Agrícolas (COA), realizaram os treinamentos para capacitar os motoristas. A Figura 1 mostrará o fluxograma do CTT e suas etapas.

Figura 1 - Sistema de corte, transbordo e transporte (CTT)



Fonte: Milan, Rosa (2015).

Observa-se, na Figura 1, que a demanda da usina (unidade industrial) (5) é atendida pelo sistema de colheita, em que no canavial (1) é realizado o corte, fracionamento e limpeza dos colmos de cana-de-açúcar pela colhedora (2). Os colmos são carregados em tempo real para um trator transbordo (3a) que se desloca para o descarregamento no caminhão canavieiro (4a) em um ponto estratégico planejado. E retorna vazio (3b) para a colhedora. Após ter sua capacidade completada, o caminhão segue para a unidade industrial, que faz o descarregamento (4b) e retorna para campo, e o ciclo repete-se ao longo da safra. Como a cana-de-açúcar é um material que não pode ser estocado, nota-se a interdependência entre as etapas do CTT e o processo industrial.

A Tabela 1 atesta que a usina, sem o sistema flow, teve uma produtividade do canavial de 79,81 e 86,09 t/ha⁻¹, com uma área a ser colhida de 24,3 mil hectares, e uma capacidade de moagem de 14,2 e 14,6 mil t/dia, apresentando assim um ritmo operacional de 5,9 e 5,69 ha/h. Para ser atendido pelo CTT entre seus 169 e 173 dias efetivos de moagem. Com isso a usina dependeu de uma demanda de 32 caminhões canavieiros nos respectivos anos.

Tabela 1 - Parâmetros gerencias da usina

Parâmetros	2018	2019
Dias totais de safra	229	210
Jornada de trabalho (h)	24	24
Horas totais de safra	5.496	5.040
Aproveitamento da indústria (%)	89,1	90,47
Dias efetivos de moagem	169	173
Horas efetivas de moagem	4.062	4.155
Capacidade de moagem (t/dia)	14.260	14.693
Moagem na safra (t)	2.413.432	2.543.972
Produtividade do canavial (t/ha)	79,81	86,09
Área a ser colhida (ha)	24.356,75	24.392,54
Ritmo operacional (ha/h)	5,96	5,69
Raio médio das áreas (km)	17,3	18,3
Cana fornecedor	464.169	445.260
Cana própria	1.949.263	2.098.712

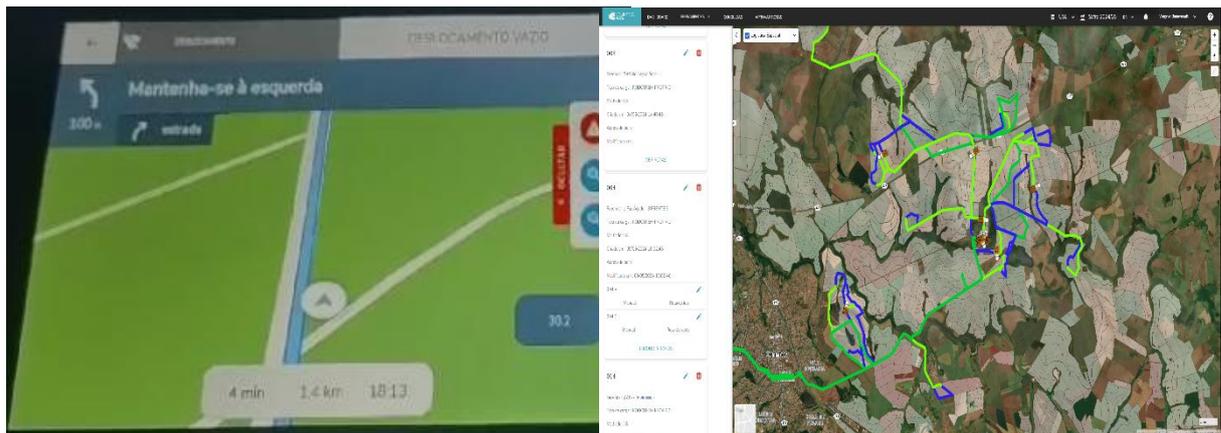
Fonte: Os autores (2024).

3.1 Sistema de Monitoramento

Nos caminhões foram instalados um sistema inteligente logístico de monitoramento do fabricante Solinftec. Esse sistema consiste na montagem de computadores de bordos nos caminhões e de um Centro de Operações Agrícolas (COA) na usina. As áreas agrícolas da usina já possuíam um sistema de comunicação via satélite, GPRS, 3G e 4G e foi migrado para os

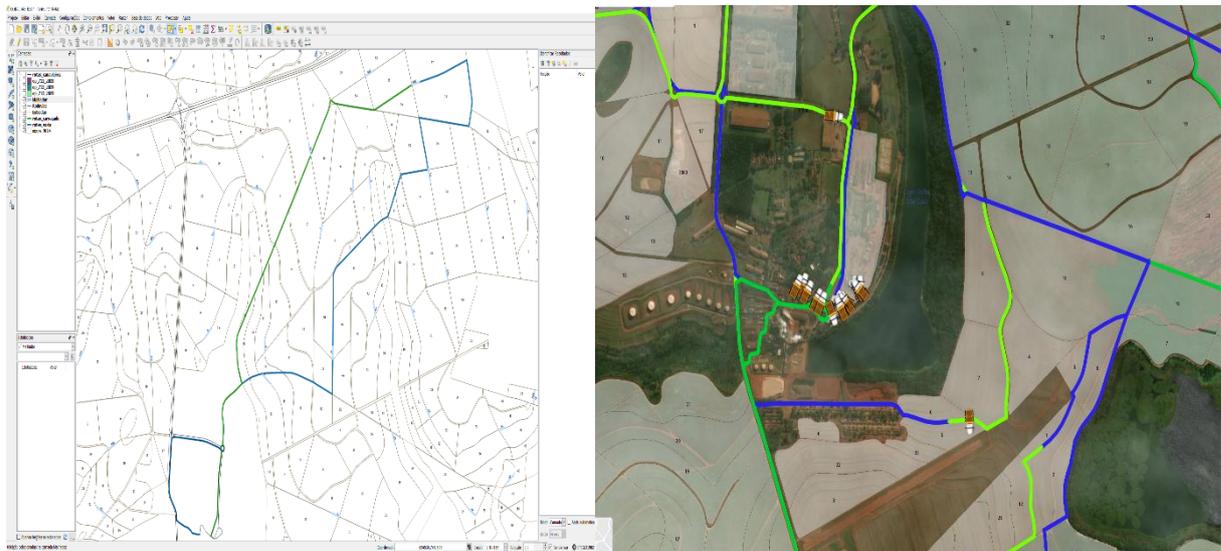
monitores do fabricante Solinftec, para a transmissão dos dados. E o COA faz a criação das rotas no QGIS, que é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral (GNU), após ser criado é integrado para o sistema inteligente logístico e é realizado a “mão carregada e mão vazia” visando a melhor logística durante o percurso, A Figura 2 mostra os monitores nos caminhões e a criação das rotas no QGIS.

Figura 2 - Computador de bordo instalado no caminhão e criação das rotas



Monitor

Rotas de todas as frentes no flow



Criação das rotas no QGIS.

Caminhões se deslocando para o pátio

Fonte: Os autores (2024).

Os motoristas receberam treinamentos, antes da instalação, de como funcionaria o monitor e passaram por testes práticos, simulando um cenário mais real possível para irem se familiarizando com o monitor, e quais apontamentos seriam necessários eles utilizar, pois o sistema é programado há identificar a operação que está realizando no ato, então automaticamente ele faz esse apontamento, só receberá uma intervenção do motorista se caso algo de anormal acontecesse. Todas as informações são enviadas via transmissão 3G/4G para o COA onde os dados são visualizados e armazenados em nuvem. O monitoramento é feito 24

horas por dia, todas divergências ocorridas nas operações são descritas em um relatório. Para ser discutido na pauta de reunião pela manhã e é repassado aos líderes responsáveis pela frente para ser feito a orientação, com objetivo de eliminar todas as divergências o mais rápido possível. E isso não ocorria sem o sistema, demorava-se dias, até meses, para ser corrigido quaisquer erros. A Figura 3 mostra o COA e suas telas operacionais.

Figura 3 - Centro Operacional Agrícola (COA)



Fonte: Os autores (2024).

Após as instalações destas tecnologias e treinamentos, foram coletados os dados e analisados quatro safras, duas “sem o sistema” e as outras duas “com o sistema” inteligente logístico, onde o primeiro ano foi onde o sistema passou por manutenções e novas instalações e adaptação dos colaboradores da usina. No segundo ano, já se alcançou o ápice do sistema e sua consolidação (Figura 2).

Tabela 2 - Cenários das avaliações do sistema

Anos de Safra 2018/2019	Anos de Safras 2022/2023	Entresafras
(Sem Sistema)	Instalação e (com o sistema)	(Coleta de Dados)

Fonte: Os autores (2024).

3.2 Conceitos de Decisão de Alocação do flow

A regra de decisão dos caminhões tem por critério que sobrepe a nova regra minutos vazão, caso tenha mais de uma frente com saldo vazão zerado o sistema vai considerar a nova regra.

Nova regra: Foram criados 3 pontos para decisão, e cada um tem um peso e o sistema pontua cada um deles e decide qual a melhor situação dentre as opções, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Pontos para decisão

Ponto	Peso	Distância (Km)
1	0,5	9
2	1	24
3	2	21

Fonte: Os autores (2024).

Produção da frente, frente com maior produtividade leva vantagem em relação as outras frentes. Tempo de alocação, frente que tem mais tempo sem receber um caminhão leva vantagem em relação as outras com maior pontuação.

Cada ponto sofre a multiplicação do peso pelo valor que ele representa do total. A Figura 4 demonstrará esses pontos.

Figura 4 - Pontos de conceitos de alocação

Frente	Tempo	Distancia	Capacidade	Perc Tempo	Perc Dist	Perc capacidade	Peso Tempo	Peso Dist	Peso capacidade	Peso decisão	Saldo min vazão
F1	20	9	193	12,903%	8,411%	28,093%	25,806%	4,206%	28,093%	58,11%	0
F2	15	24	108	9,677%	22,430%	15,721%	19,355%	11,215%	15,721%	46,29%	0
F3	30	21	91	19,355%	19,626%	13,246%	38,710%	9,813%	13,246%	61,77%	0
F4	50	23	115	32,258%	21,495%	16,739%	64,516%	10,748%	16,739%	92,00%	10
F5	40	30	180	25,806%	28,037%	26,201%	51,613%	14,019%	26,201%	91,83%	15

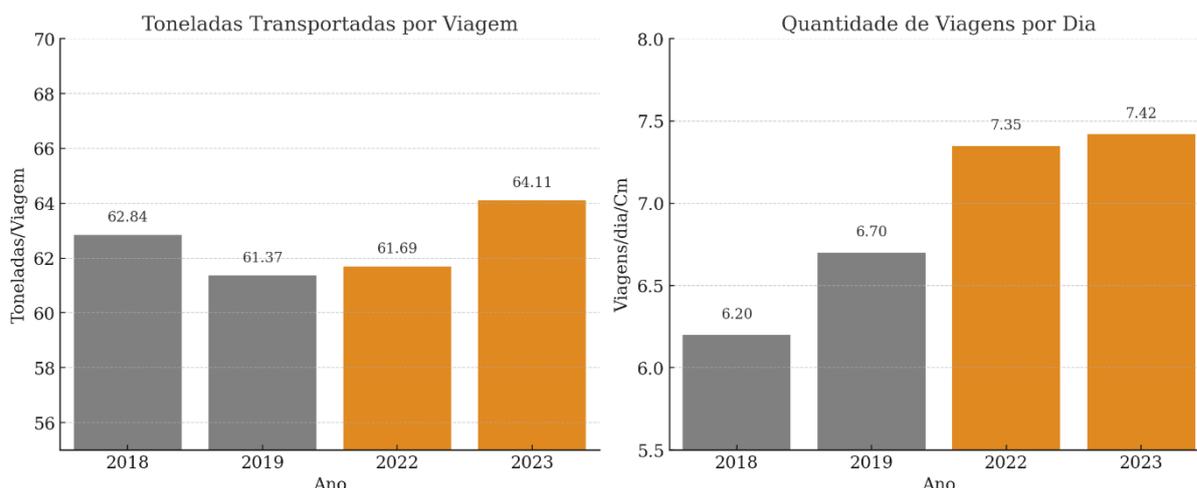
Fonte: Solinftec (2022).

4 Resultados

Com base nos dados reais coletados nas safras selecionadas para a análise, realizaram-se comparativos e analisaram-se alguns parâmetros, como mostrado na Figura 5. No campo de análise da viagem/dia/caminhão, nos anos 2018/2019 sendo “sem o sistema”, as viagens dos caminhões ficaram entre 6,2 a 6,7 viagem/dia, já “com o sistema” podemos observar que nos anos 2022/2023, alcançou-se um aumento de 7,35 a 7,42 viagem/dia. Isso se dá por conta de melhor eficiência na logística dos caminhões.

Com esse aumento de viagem, observa-se ainda, que nos anos “sem o sistema” a usina teve 62,84 a 61,37 TC/Viagem e “com o sistema” 61,69 a 64,11 TC/Viagem, superando assim os anos anteriores.

Figura 5 - Comparativo de eficiência do sistema⁷



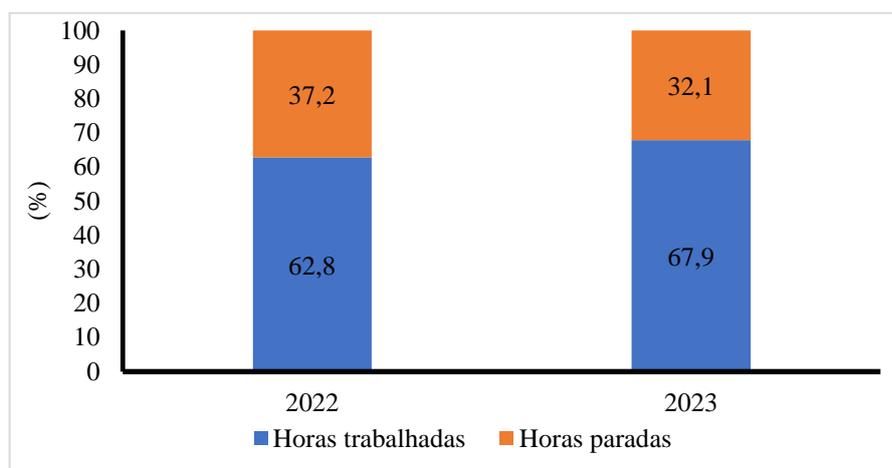
Fonte: Os autores (2024).

Com o sistema permitiu-se, através da telemetria quantificar as horas produtivas e improdutivoas. Com esses dados analisados cria-se pontos de melhorias para estar diminuindo as horas improdutivoas e aumentando as horas produtivas auxiliando na gestão dos caminhões e na tomada de decisão como mostra na Figura 6, em 2022 teve 62,8% de horas produtivas, e em 2023 após a análise e melhorias aumentou as horas produtivas para 67,9% diminuindo as horas improdutivoas.

E nos anos sem o sistema não havia possibilidades de obter esses dados, dificultando na gestão e implicando em pontos de melhoria.

⁷ Cor cinza, antes do sistema. Cor laranja, após implantação do sistema.

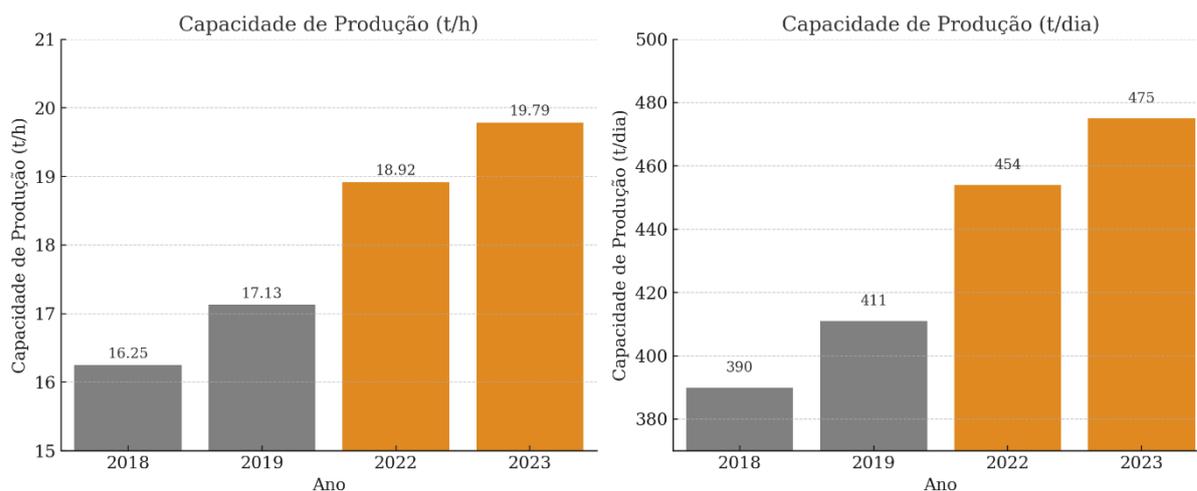
Figura 6 - Horas paradas e horas trabalhadas dos caminhões



Fonte: Os autores (2024).

A Figura 7, mostra a capacidade de produção em toneladas hora e diária dos caminhões nos dois cenários analisados.

Figura 7 - Capacidade de produção⁸

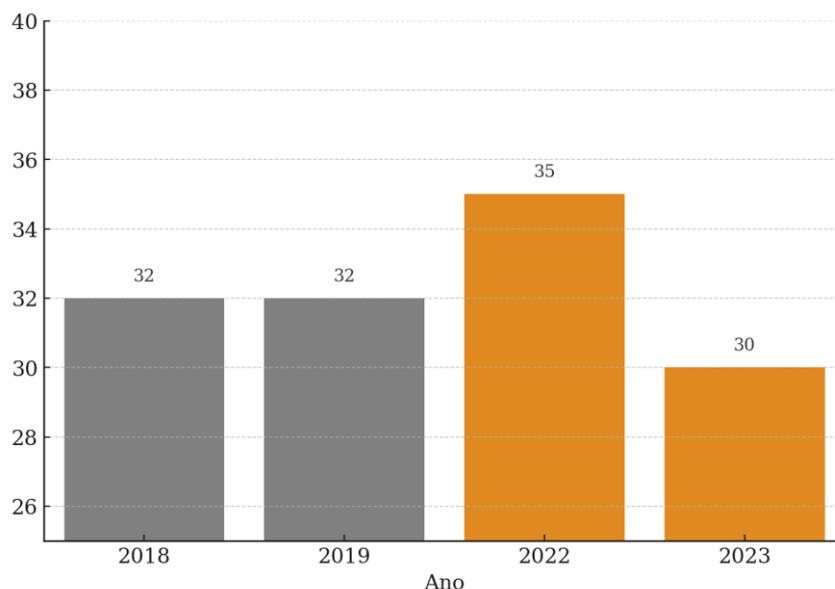


Fonte: Os autores (2024).

Nota-se, na Figura 8, que houve mudanças nos números de caminhões nos cenários analisados, essa mudança ocorre, pois, no cenário com o sistema, ele mostra através dos dados coletados do CTT, que com a quantidade de tonelada que está sendo entregue na indústria, demandará de (x) número de caminhões, que no cenário sem o sistema, não ocorria essa alternativa. Garantindo assim, (x) possibilidades para os gestores se programarem com antecedência, e realocarem os outros caminhões para uma possível revisão, lavagem, troca de óleo etc. Evitando assim uma parada sem planejamento, e os caminhões ficarem rodando desnecessariamente.

⁸ Cor cinza, antes do sistema. Cor laranja, após implantação do sistema.

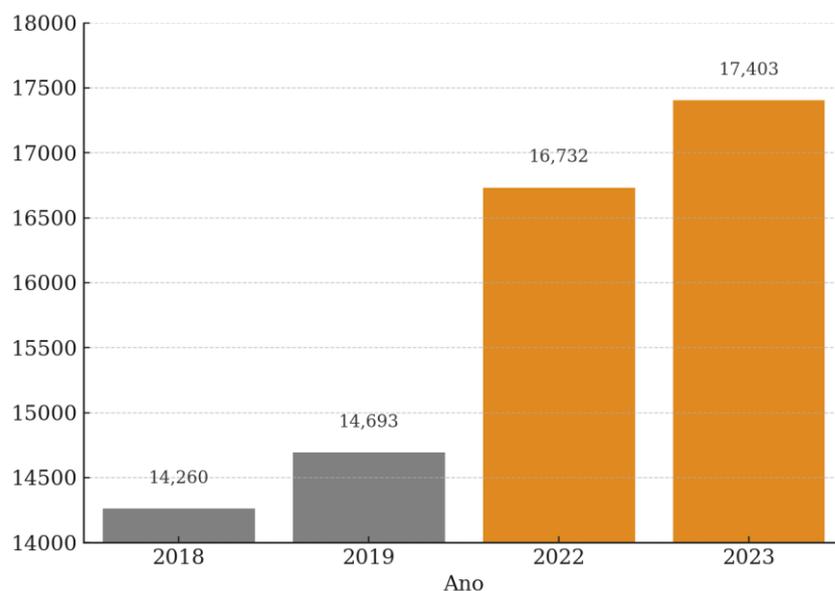
Figura 8 - Número de Caminhões⁹



Fonte: Os autores (2024).

Os resultados obtidos com o uso do sistema mostram que a usina alcançou uma capacidade de moagem diária de 17.403 toneladas, permitindo assim então, se necessário, aumentar os dias efetivo de safras, em clima desfavorável se caso necessário, ou até mesmo a capacidade de moagem diária, conforme mostra na Figura 9.

Figura 9 - Capacidade de Moagem (t/dia)⁹



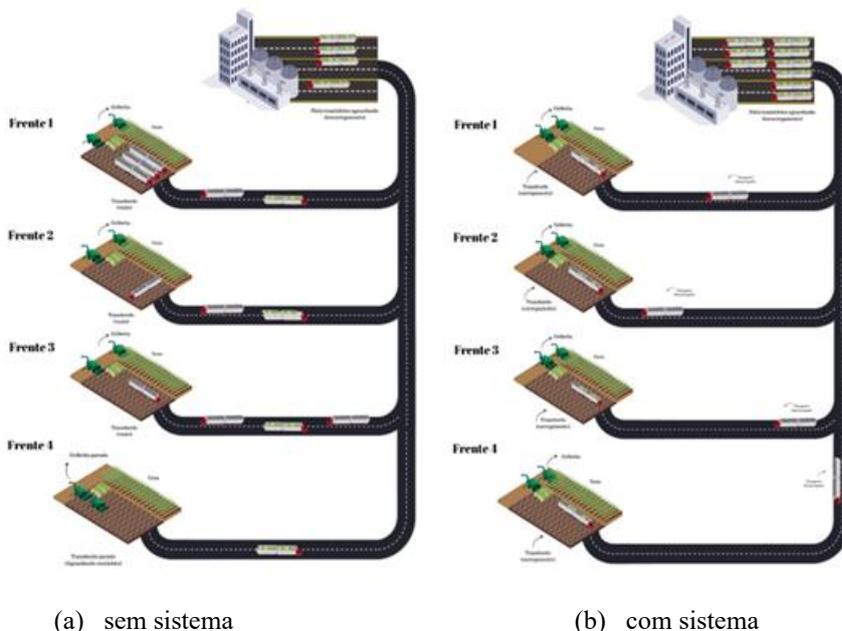
Fonte: Os autores (2024).

Sendo a logística uma área fundamental para o funcionamento eficiente da indústria, quando realizada de forma convencional, poderá ter ineficiências de diversos fatores. A Figura 10, de forma simplificada, ilustra de forma de distribuição antes e depois da tecnologia, sendo

⁹ Cor cinza, antes do sistema. Cor laranja, após implantação do sistema

(a) antes do sistema e (b) depois. Em (a), é evidente a ineficiência na distribuição dos caminhões pelas frentes de trabalho da usina, onde em algumas havia mais caminhões e em outras, poucos ou nenhum. Como a distribuição era feita manualmente, não havia uma garantia de caminhões retornando carregados, o que acabava por afetar a eficiência da moenda e as operações do CTT.

Figura 10 - Distribuição dos caminhões pelas frentes sendo



(a) sem sistema

(b) com sistema

Fonte: Os autores (2024).

Em (b), nota-se uma distribuição mais precisa entre as frentes, com um caminhão carregando e outro chegando em cada uma delas, além de mais caminhões no pátio da indústria. Isso proporciona uma estabilidade na entrega de cana, melhora na eficiência dos caminhões, diminuição das horas paradas no campo por falta de caminhões e previsibilidade na entrega da cana. O que se busca é uma indústria eficaz na moagem, sem a necessidade constante de aumentar e diminuir a rotação de moagem.

5 Considerações finais

Os resultados da avaliação com e sem a implementação do sistema evidenciaram claramente as vantagens da aplicação do sistema logístico inteligente (Flow) da Solinftec na eficácia dos caminhões em uma usina de cana-de-açúcar.

O sistema contribuiu para aumentar a capacidade de moagem diária, a produtividade de cana em tonelada por hectare e na eficiência operacional, diminuindo as horas paradas e melhorando a gestão de toda a operação do CTT. Isso permitiu aumentar a capacidade de moagem diária e dos dias efetivos de safras, se caso necessário.

Na avaliação, observou-se também que com o monitoramento em tempo real o COA auxilia os líderes em campo, tornando assim as decisões mais assertivas, pois o COA tem uma visão mais ampla de todo o processo, desde a colheita até a entrega da cana na indústria. As comunicações de forma claras são fundamentais em uma organização, e essa trouxe grandes resultados. Demonstrando um potencial deste sistema para otimizar os recursos da usina. Recomenda-se que mais estudos sejam realizados, para avaliar a viabilidade econômica a longo prazo dessa tecnologia e identificar possíveis áreas de aprimoramentos.

Referências

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTCIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 11, n. 2, agosto 2023. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/48807_c8687b85489cc7d6bb3b0495675b317a. Acesso em: 27 Nov. 2023.

MILAN, M.; ROSA, J.H.M. Corte, transbordo e transporte. In: BELARDO, G.C; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. (ed.) **Processo agrícola e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal, SP: SBEA, 2015

Vian, C. E.F; MARIN, F. R. **Logística e transporte**. Brasília: Companhia Nacional De Abastcimento, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/logistica-e-transporte>. Acesso em: 21 set. 2023.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 107-127, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2002000200002>. Acesso em: 05 out. 2023

SOARES, W. M. **Automação Agrícola: controle do processo operacional e gerencial da colheita mecanizada**. Dissertação (Mestrado em Ciências). 2022. 67f. Faculdade de Zootecnia e Engenharia e Alimentos. Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, 2022. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=12055825. Acesso em: 11 out. 2023

SANTOS, N. B. Desenvolvimento de um software para o gerenciamento do sistema de transporte de cana-de-açúcar. 2021. 79f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/63801>.

PÉRA. T. G., CARETA, C. B.; BRANCO, J. E. H. CTT: Transformando Aço em Números. **Revista Canavieiros**, mar. 2018, nº 141, ESALQ-LOG. Disponível em: https://esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2019/Canavieiros_Mar%C3%A7o_-_Treinamento_CTT_ESALQ-LOG.pdf. Acesso em 30 out. 2023