



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DA COLHEITA E TRANSBORDO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)

Ricardo Ghantous Cervi¹, Maura Seiko Tsutsui Esperancini², Helenice de Oliveira Florentino Silva³, Paulo Roberto Isler⁴ & Paulo André de Oliveira⁵

RESUMO: Diversos fatores afetam a indústria canavieira do Brasil, como a baixa taxa de utilização da capacidade industrial e redução dos rendimentos dos processos agrícolas mecanizados, principalmente na colheita da cana-de-açúcar. O objetivo deste estudo foi utilizar metodologias de autores da área de mecanização agrícola para a estimativa de indicadores de desempenho operacional das operações de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Os dados foram coletados por meio de pesquisa documental realizada numa propriedade pertencente a uma usina sucroenergética situada na cidade de São Manuel-SP. A análise desta proposta metodológica foi realizada por meio de um estudo de caso, com a obtenção de informações sobre a área colhida, na safra 2010/2011. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que os métodos utilizados para estimar os indicadores de desempenho operacional auxiliam no planejamento das operações de colheita, tanto para o dimensionamento do número de máquinas e implementos necessários, como para a determinação de indicadores que contribuem para o controle das operações.

PALAVRAS-CHAVE: Colheita mecanizada, indicadores, metodologia.

OPERATIONAL PERFORMANCE EVALUATION OF SUGARCANE (*Saccharum spp.*) HARVESTING AND LOADING MECHANICAL OPERATIONS

SUMMARY: Several factors have affected the sugarcane industry in Brazil lately, the low rate of industrial capacity utilization and the decrease agricultural processes efficiency, especially in harvesting process. The objective of this study was to estimate operational performance indicators for mechanical harvesting of sugarcane operations based on methodologies described by researchers in the field of agricultural mechanization. Data were collected through desk research conducted in a sugarcane plant located in Sao Manuel, Sao Paulo State. The analysis of this proposed methodology was carried out through a study case with collected information on the harvesting area in 2010/2011. According to the present results, it was concluded that the methodologies used to estimate the operational performance indicators help planning harvesting operations, both for determining the number of machines and equipment needed, and identifying the indicators that contribute to control this operations.

KEYWORDS: Mechanical harvesting, indicators, methodology.

1 INTRODUÇÃO

Na década de 1970 surgiu um novo ciclo do setor canavieiro no Brasil, com o Programa Nacional do Álcool- PROÁLCOOL, o qual tinha como objetivo substituir parte da gasolina utilizada na frota nacional

pelo uso de álcool hidratado, seja como combustível ou aditivo à gasolina, tornando menos poluente a sua combustão, assim, o papel do álcool deixava de ser apenas uma válvula de escape da indústria açucareira, além de ser uma fonte renovável de energia. Também se tornou um meio para reduzir o impacto do choque do petróleo sobre a balança comercial e para reduzir a dependência energética do exterior (CORREIA, 2007).

O Brasil é um país que apresenta uma configuração privilegiada da matriz energética em termos de uso de fontes renováveis de energia, uma vez que 44,1% do consumo energético, em 2011, foi atendido por fontes renováveis, muito acima da média mundial, de 13,3% (BRASIL, 2012b).

A participação na oferta interna de energia do país, em 2011, provinda de produtos da cana-de-açúcar foi de 15,7%, representando o maior percentual na oferta de energia oriunda de fontes renováveis, seguida pela

¹ Prof. Doutor, Faculdade de Tecnologia de Botucatu, FATEC, Curso de Tecnologia em Agronegócio. E-mail: riccervi@yahoo.com.br

² Profa. Doutora, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Departamento de Economia, Sociologia e Tecnologia, UNESP, Botucatu – SP. E-mail: maura@fca.unesp.br

³ Profa. Doutora, Instituto de Biociências, Departamento de Bioestatística, UNESP, Botucatu – SP. E-mail: helenice@ibb.unesp.br

⁴ Prof. Mestre, Faculdade de Tecnologia de Botucatu, FATEC, Curso de Tecnologia em Agronegócio. E-mail: pauloisler@gmail.com

⁵ Prof. Doutor, Faculdade de Tecnologia de Botucatu, FATEC, Curso de Tecnologia em Agronegócio. E-mail: poliveira@fatecbt.edu.br

energia hidráulica com 14,7%, lenha e carvão vegetal com 9,7% e outras fontes 4,1% (BRASIL, 2012b).

Por outro lado verifica-se, conforme dados da Tabela 1, que, em 2009, o país chegou a ter 47,2% de energias renováveis na oferta interna de energia e que nos anos de 2010 e 2011 houve uma redução na participação das energias renováveis na matriz energética brasileira como

consequência, principalmente, da diminuição na oferta da biomassa de cana-de-açúcar. Conforme os dados da Tabela 1, pode-se verificar que, de 2010 para 2011, houve uma redução de 9,2% na oferta interna de energia oriunda de produtos da cana-de-açúcar, em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep).

Tabela 1 - Oferta interna de energia em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), Brasil 2010 - 2011.

| Ano | 2010 | 2011 | Variação (%) | Ano | 2010 | 2011 | Variação (%) |
|-----------------------------------|-------|-------|--------------|---|-------|-------|--------------|
| FONTE RENOVÁVEL | 121,2 | 120,2 | -0,9 | FONTE NÃO RENOVÁVEL | 147,6 | 152,2 | 3,1 |
| Energia hidráulica e Eletricidade | 37,7 | 39,9 | 6,1 | Petróleo e derivados | 101,7 | 105,2 | 3,4 |
| Lenha e carvão vegetal | 26,0 | 26,3 | 1,3 | Gás natural | 27,5 | 27,6 | 0,2 |
| Produtos da cana-de-açúcar | 47,1 | 42,8 | -9,2 | Carvão mineral e derivados | 14,5 | 15,2 | 5,4 |
| Outras renováveis | 10,4 | 11,1 | 6,4 | Urânio (U ₃ O ₈) e derivados | 3,9 | 4,1 | 7,4 |

Fonte: BRASIL, 2012b.

Essa redução pode ser justificada, porque a safra 2010/11, de acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), apresentou diversos pontos desfavoráveis como à queda na produtividade agrícola, redução no teor de açúcar total recuperável da cana-de-açúcar, baixa taxa de utilização da capacidade industrial e redução dos rendimentos dos processos agrícolas mecanizados, principalmente no corte da cana-de-açúcar. Isso ocasionou um significativo aumento dos custos agroindustriais por unidade de produto (BRASIL, 2012a).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, a cana-de-açúcar colhida no Brasil destinada ao setor sucroalcooleiro, ocupou uma área de 8,3 milhões de hectares na safra 2010/2011, com uma produção total de 571,4 milhões de toneladas, o que resultou em 283,9 milhões de toneladas de açúcar e 22,8 milhões de metros cúbicos de álcool (BRASIL, 2011).

Para industrializar essa produção é necessário colher a matéria-prima no campo e transportá-la para a indústria. Para o caso específico da cana-de-açúcar, a colheita da matéria-prima deve refletir todo trabalho desenvolvido no planejamento e na implantação da cultura, desde o preparo do solo até a operação de colheita.

Ripoli e Ripoli (2009) descreveram que, o sistema de colheita utilizado, durante vários anos, foi o semimecanizado, com a queima prévia do canavial, corte manual e o carregamento da cana-de-açúcar inteira, realizado por meio de máquinas carregadoras. O sistema de colheita apresentou muitas mudanças nos últimos anos, com a gradativa substituição do sistema semimecanizado para o sistema mecanizado. No sistema mecanizado são empregadas colhedoras autopropelidas que cortam, limpam e transferem os colmos de cana-de-açúcar para veículos de transbordo ou diretamente em

veículos de transporte, como caminhões. Os autores também apontaram que a utilização da colheita mecanizada é admitida em relevos com até 17% de declividade, mas para isso é necessário realizar a sistematização do talhão e a regulação das máquinas.

Para Gazon (2009), ao sistematizar o talhão de cana-de-açúcar é possível otimizar o plantio e a colheita mecanizada, o que implica em aumento no rendimento operacional e redução de custos. Para alcançar esse alto rendimento operacional e um melhor ganho econômico, a orientação é mudar o traçado dos talhões, colocando o menor número possível de linhas curtas e bicos.

A mudança nos processos de colheita de cana-de-açúcar tem ocorrido por diversos fatores, dentre os quais se destacam: a redução de custos, diminuição da oferta de mão-de-obra e pelo protocolo agroambiental proposto pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar – UNICA, em parceria com o Governo de São Paulo. O acordo teve como objetivo antecipar, nos terrenos com declividade até 12%, o prazo final para a eliminação da queima da cana-de-açúcar de 2021 para 2014. Já para terrenos com declividade superior a 12%, o prazo final passa de 2031 para 2017. Como resultado, a adesão ao protocolo de cooperação confere aos produtores um Certificado de Conformidade Agroambiental, que proporciona vantagens importantes nos procedimentos de certificação de seus produtos para exportação (NOVAES et al., 2011).

Rodrigues e Abi Saab (2007) destacaram que a mudança na etapa do corte, de manual para mecânico, não é apenas uma mera substituição de uma técnica por outra, porque, em termos agrícolas, isto significa combinar e otimizar aspectos como: o preparo do solo na lavoura, o dimensionamento dos equipamentos no campo, a equipe

de manutenção e apoio, o treinamento do pessoal envolvido, além das alterações no transporte e recepção da cana-de-açúcar na indústria.

Ripoli e Ripoli (2009) descreveram que do ponto de vista das usinas e, também, de fornecedores independentes de cana-de-açúcar, o desempenho operacional da colheita mecanizada ganha importância no gerenciamento, à medida que o número, o tamanho e a complexidade das máquinas aumentam. Assim, melhorias no desempenho operacional proporcionam a otimização no uso de máquinas e equipamentos agrícolas, as quais são fundamentais para a redução de custos operacionais.

O desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar é entendido por diversos autores como o conjunto de atributos que caracterizam o grau de habilitação da máquina, bem como o treinamento da mão-de-obra para executar a operação de corte, sob determinadas condições operacionais (ASAE, 1983; FURLANI NETO; FERNANDES; MIALHE, 1977; MIALHE, 1974; MIALHE; RIPOLI, 1976; WITNEY, 1988).

Mialhe e Carraro Neto (1993) descreveram que os graus de habilitação são determinados sobre a capacidade de colheita, qualidade do processamento do produto, funcionalidade mecânica, ergonomia e segurança.

O objetivo deste estudo foi estimar indicadores de desempenho operacional para operações de colheita e transbordo de cana-de-açúcar, com a utilização de colhedoras autopropelidas e tratores com carrocerias acopladas, por meio de metodologias de autores da área de mecanização agrícola.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram obtidas informações sobre os processos de corte e carregamento em uma propriedade da Usina localizada em Latitude 22° 32' 40.67" Sul e Longitude 48° 34' 11.79" Oeste. O clima da região é do tipo Cfa (Método de Köppen), clima temperado quente, mesotérmico, úmido, e com temperatura média anual de 21°C (CUNHA; MARTINS, 2009).

Este trabalho foi realizado em uma propriedade pertencente a uma Usina sucroenergética situada na cidade de São Manuel - SP, durante o ano agrícola 2010/11. Devido às exigências dos gestores da usina em estudo que não autorizaram a divulgação da marca comercial, razão social, e imagens da empresa, essas informações foram omitidas. Contudo, foi autorizada a coleta de dados para a execução deste trabalho. Assim, foram conduzidas pesquisas documentais sobre os apontamentos de campo da área estudada, os quais estavam dispostos nos bancos de dados de sistemas integrados de gestão da empresa.

Para obtenção dos dados foi colhida uma área de 400,17 ha. Nesta área realizou-se tanto o corte como o carregamento de cana-de-açúcar crua de 8 variedades de cana-de-açúcar dispostas em 12 parcelas, através do sistema mecanizado no período de 19 de Julho a 9 de Agosto de 2011. No entanto, nas parcelas 11 e 12,

estavam plantadas diversas variedades de cana-de-açúcar em proporções não especificadas.

A colheita foi realizada por meio de uma colhedora automotriz, máquina que executa o corte, realiza o fracionamento, a limpeza e o carregamento da matéria-prima no transbordo. O transbordo é constituído por um conjunto de trator e carroceria que realiza o transporte interno do canavial para os carregadores, retirando a matéria-prima colhida no talhão e depositando-a no veículo encarregado de transportar a matéria-prima para a Usina. O transporte da matéria-prima da propriedade para a Usina não foi considerado neste estudo.

As colhedoras utilizadas foram da marca John Deere modelo 3520, com potência de 251 kW. Estas colhem uma linha de cana-de-açúcar por vez em sua operação. As informações quanto à velocidade média de operação da máquina foram obtidas no monitor de bordo da mesma que armazena esses dados. Para a operação de transbordo, utilizou-se tratores marca Valtra modelo AGCO POWER 620DS, com potência de 132 kW, e transbordos da marca Antoniosi de 2 eixos com capacidade de carga de 12 toneladas.

Foram coletadas informações sobre a área de colheita, número de dias de safra, número de dias impróprios devido a condições climáticas desfavoráveis, e a jornada de trabalho da Usina. Também foram obtidos os dados de horas de produção operacional e efetiva das colhedoras, horas despendidas com manobras de cabeceira e deslocamento das máquinas, além das horas de manutenção, abastecimento e horas administrativas não aproveitadas devido à troca de turnos e demais interrupções.

Foi desenvolvido um método adaptado das metodologias propostas por ASABE (2011); MIALHE (1974); RIPOLI e RIPOLI (2009); SANTOS (2011), para avaliar, de forma sistêmica, o desempenho operacional do corte e carregamento mecanizado de cana-de-açúcar. As metodologias foram utilizadas para definir o número de equipamentos (colhedoras, tratores e transbordos) necessários para atender a uma dada demanda no processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, além de apresentarem indicadores de desempenho operacional de máquinas agrícolas.

A quantidade de cana-de-açúcar colhida foi obtida por meio da Equação 1.

$$Q_{\text{colh}} = A_{\text{colh}} \cdot P_{\text{rc}} \quad (1)$$

Em que:

$$Q_{\text{colh}} = \text{quantidade de cana-de-açúcar colhida} \quad (\text{t ano}^{-1}).$$

$$A_{\text{colh}} = \text{área de colheita} \quad (\text{ha ano}^{-1}).$$

$$P_{\text{rc}} = \text{produtividade média do canavial} \quad (\text{t ha}^{-1}).$$

A produtividade média do canavial foi estimada por meio da razão do volume colhido em toneladas, no período, em relação a área de colheita medida em hectares. O tempo disponível refere-se ao número de horas disponíveis para realizar a colheita no período estipulado para a safra. O número de dias impróprios

refere-se aos dias em que a operação de colheita não pode ser realizada devido a fatores relacionados ao clima. A jornada de trabalho representa o número de horas de trabalho por dia. O cálculo do tempo disponível foi obtido conforme a Equação (2).

$$T_d = (N_{td} - N_{di}) \cdot J_t \quad (2)$$

Em que:

$$\begin{aligned} T_d &= \text{tempo disponível} && (\text{h ano}^{-1}). \\ &\text{número total de dias} \\ N_{td} &= \text{considerados como o} && (\text{dias ano}^{-1}). \\ &\text{período de safra} \\ N_{di} &= \text{número de dias impróprios} && (\text{dias ano}^{-1}). \\ &\text{no período de safra} \\ J_t &= \text{jornada de trabalho} && (\text{h dia}^{-1}). \end{aligned}$$

O tempo disponível para a operação de colheita e transbordo é composto pelo tempo de produção efetiva, o qual se refere as horas em que a colhedora encontrava-se em plena operação de corte, o tempo de manobras e deslocamento das máquinas, o tempo com manutenção das máquinas e o tempo desperdiçado com horas administrativas relativas a interrupções para trocas de turnos de trabalho, abastecimento, regulagem, desobstrução de máquinas, descanso do operador, entre outros.

O tempo de utilização das máquinas é composto pelo tempo efetivo de produção e pelo tempo de manobras e deslocamento onde se considera apenas o tempo que as máquinas estão em pleno funcionamento. Assim, o tempo de utilização dos equipamentos foi obtido através da Equação 3.

$$T_{ut} = T_{pro} + T_{man} \quad (3)$$

Em que:

$$\begin{aligned} T_{ut} &= \text{tempo de utilização das} && (\text{h ano}^{-1}). \\ &\text{máquinas e implementos} \\ T_{pro} &= \text{tempo produtivo} && (\text{h ano}^{-1}). \\ T_{man} &= \text{tempo de manobra e} && (\text{h ano}^{-1}). \\ &\text{deslocamento} \end{aligned}$$

A capacidade de campo operacional foi calculada, conforme Mialhe (1974), através da Equação 4.

$$C_{cop} = \frac{A_{colh}}{T_d} \quad (4)$$

Em que:

$$\begin{aligned} C_{cop} &= \text{capacidade de campo} && (\text{ha h}^{-1}). \\ &\text{operacional} \\ A_{colh} &= \text{área de colheita} && (\text{ha ano}^{-1}). \\ T_d &= \text{tempo disponível} && (\text{h ano}^{-1}). \end{aligned}$$

De acordo com Mialhe (1974), a capacidade de campo efetiva foi obtida através da Equação 5.

$$C_{cef} = \frac{A_{colh}}{T_{pro}} \quad (5)$$

Em que:

$$\begin{aligned} C_{cef} &= \text{capacidade de campo} && (\text{ha h}^{-1}). \\ &\text{efetiva} \\ A_{colh} &= \text{área de colheita} && (\text{ha ano}^{-1}). \\ T_{pro} &= \text{tempo produtivo} && (\text{h ano}^{-1}). \end{aligned}$$

Ripoli e Ripoli (2009) apontam que a eficiência de campo é obtida através da razão entre a capacidade de campo operacional e a capacidade de campo efetiva, a qual foi estimada conforme a Equação 6.

$$E_{fc} = \frac{C_{cop}}{C_{cef}} \cdot 100 \quad (6)$$

Em que:

$$\begin{aligned} E_{fc} &= \text{eficiência de campo} && (\%). \\ C_{cop} &= \text{capacidade de campo} && (\text{ha h}^{-1}). \\ &\text{operacional} \\ C_{cef} &= \text{capacidade de campo efetiva} && (\text{ha h}^{-1}). \end{aligned}$$

A capacidade de campo efetiva da colhedora foi determinada, conforme ASABE (2011), que considera o espaçamento de cultivo, velocidade de operação e a eficiência de campo, Equação 7.

$$C_{co} = \left(\frac{N_l \cdot E_{ct} \cdot V_{co}}{10} \right) \cdot E_{fc} \quad (7)$$

Em que:

$$\begin{aligned} C_{co} &= \text{capacidade de campo efetiva da} && (\text{ha h}^{-1}). \\ &\text{colhedora} \\ N_l &= \text{número de linhas da colhedora} && (\text{unidades}). \\ E_{ct} &= \text{espaçamento entre fileiras da} && (\text{m}). \\ &\text{cultura} \\ V_{co} &= \text{velocidade média de operação da} && (\text{Km h}^{-1}). \\ &\text{colhedora} \\ E_{fc} &= \text{eficiência de campo} && (\%). \end{aligned}$$

Com base na capacidade de campo efetiva da colhedora e na produtividade média da cultura, foi calculada a capacidade de produção operacional da colhedora, através da Equação 8.

$$C_{pc} = P_{rc} \cdot C_{co} \quad (8)$$

Em que:

$$\begin{aligned} C_{pc} &= \text{capacidade de produção} && (\text{t h}^{-1}). \\ &\text{operacional colhedora} \\ P_{rc} &= \text{produtividade média do canavial} && (\text{t ha}^{-1}). \\ C_{co} &= \text{capacidade de campo efetiva da} && (\text{ha h}^{-1}). \\ &\text{colhedora} \end{aligned}$$

O número de colhedoras foi estimado por meio da Equação 9.

$$N_{co} = \frac{C_{cef}}{C_{co}} \quad (9)$$

Em que:

$$\begin{aligned} N_{co} &= \text{número de colhedoras} && (\text{unidades}) \\ C_{cef} &= \text{capacidade de campo efetiva} && (\text{ha h}^{-1}) \\ C_{co} &= \text{capacidade de campo efetiva da} && (\text{hah}^{-1}) \\ &\text{colhedora} \end{aligned}$$

O transbordo realiza o transporte interno, recolhendo a cana-de-açúcar colhida pela colhedora depositando-a no veículo de transporte. É importante salientar que na Usina analisada cada transbordo é composto por um trator e duas carrocerias. O tempo total do ciclo de transbordo, conforme Santos (2011), foi obtido por meio da Equação (10).

$$T_{\text{tran}} = T_{\text{car}} + T_{\text{desc}} + T_{\text{desl(tota)}} \quad (10)$$

Em que:

$$\begin{aligned} T_{\text{tran}} &= \text{tempo total do ciclo de transbordo} \quad (\text{h}) \\ T_{\text{car}} &= \text{tempo de carregamento do transbordo} \quad (\text{h}) \\ T_{\text{desc}} &= \text{tempo de descarregamento do transbordo} \quad (\text{h}) \\ T_{\text{desl(total)}} &= \text{tempo total de deslocamento do transbordo} \quad (\text{h}) \end{aligned}$$

O tempo de carregamento do transbordo foi obtido, segundo Santos (2011), pela Equação (11).

$$T_{\text{car}} = \frac{C_{\text{carg}} \cdot N_{\text{carr}}}{C_{\text{pc}}} \quad (11)$$

Em que:

$$\begin{aligned} T_{\text{car}} &= \text{tempo de carregamento do transbordo} \quad (\text{h}). \\ C_{\text{carg}} &= \text{capacidade de carga de uma carroceria} \quad (\text{t}). \\ N_{\text{carr}} &= \text{número de carrocerias que compõe o transbordo} \quad (\text{unidades}). \\ C_{\text{pc}} &= \text{capacidade de produção operacional da colhedora} \quad (\text{t h}^{-1}). \end{aligned}$$

O tempo de descarregamento foi fornecido pela Usina em estudo, de acordo com as informações do fabricante conforme as características do equipamento agrícola. O tempo de deslocamento corresponde ao tempo de percurso realizado pelo transbordo refere-se ao deslocamento de ida carregado, colhedora até o caminhão, e o retorno vazio, do caminhão até a colhedora.

O tempo de deslocamento, conforme Santos (2011), é obtido pela razão entre a distância média da colhedora ao veículo de transporte e a velocidade de deslocamento do transbordo nesse percurso, o qual foi obtido pelas Equações 12, 13 e 14.

$$T_{\text{desl(ida)}} = \left(\frac{D_{\text{mct}}}{1000 \cdot V_{\text{dt(ida)}}} \right) \quad (12)$$

Em que:

$$\begin{aligned} T_{\text{desl(ida)}} &= \text{tempo de deslocamento do transbordo na ida} \quad (\text{h}). \\ D_{\text{mct}} &= \text{distância média entre a colhedora e o veículo de transporte} \quad (\text{m}). \\ V_{\text{dt(ida)}} &= \text{velocidade média de deslocamento do transbordo na ida} \quad (\text{km h}^{-1}). \end{aligned}$$

Na volta, como o transbordo retorna sem carga a velocidade média de deslocamento é diferente da ida, Equação 13.

$$T_{\text{desl(volta)}} = \left(\frac{D_{\text{mct}}}{1000 \cdot V_{\text{dt(volta)}}} \right) \quad (13)$$

Em que:

$$\begin{aligned} T_{\text{desl(volta)}} &= \text{tempo de deslocamento do transbordo na volta} \quad (\text{h}). \\ D_{\text{mct}} &= \text{distância média entre a colhedora e o veículo de transporte} \quad (\text{m}). \\ V_{\text{dt(volta)}} &= \text{velocidade média de deslocamento do transbordo na volta} \quad (\text{km h}^{-1}). \end{aligned}$$

O tempo de deslocamento total foi obtido através da Equação 14.

$$T_{\text{desl(total)}} = T_{\text{desl(ida)}} + T_{\text{desl(volta)}} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} T_{\text{desl(total)}} &= \text{tempo total de deslocamento do transbordo} \quad (\text{h}). \\ T_{\text{desl(ida)}} &= \text{tempo de deslocamento do transbordo na ida} \quad (\text{h}). \\ T_{\text{desl(volta)}} &= \text{tempo de deslocamento do transbordo na volta} \quad (\text{h}). \end{aligned}$$

A eficiência de campo foi considerada no cálculo da capacidade de produção operacional do transbordo porque se refere aos tempos perdidos durante o ciclo total de carregamento, descarregamento e deslocamento das máquinas e implementos. Dessa maneira, a capacidade de produção operacional do transbordo foi determinada, conforme uma adaptação de Santos (2011), através da Equação (15).

$$C_{\text{ptr}} = \left(\frac{C_{\text{carg}} \cdot N_{\text{carr}}}{T_{\text{tran}}} \right) \cdot E_{\text{fc}} \quad (15)$$

Em que:

$$\begin{aligned} C_{\text{ptr}} &= \text{capacidade de produção operacional do transbordo} \quad (\text{t h}^{-1}). \\ C_{\text{carg}} &= \text{capacidade de carga de uma carroceria} \quad (\text{t}). \\ N_{\text{carr}} &= \text{número de carrocerias que compõe o transbordo} \quad (\text{unidades}). \\ T_{\text{tran}} &= \text{tempo total do ciclo de transbordo} \quad (\text{h}). \\ E_{\text{fc}} &= \text{eficiência de campo} \quad (\%). \end{aligned}$$

O número de transbordos necessários para atender a uma colhedora foi obtido, conforme Santos (2011), por meio da razão entre a capacidade de produção operacional da colhedora e a capacidade de produção operacional do transbordo, Equação 16.

$$N_{\text{tran}} = \frac{C_{\text{pc}}}{C_{\text{ptr}}} \quad (16)$$

Em que:

$$N_{\text{tran}} = \text{número de transbordos para atender uma colhedora} \quad (\text{unidades}).$$

$$C_{\text{pc}} = \text{capacidade de produção operacional da colhedora} \quad (\text{t h}^{-1}).$$

$$C_{\text{ptr}} = \text{capacidade de produção operacional do transbordo} \quad (\text{t h}^{-1}).$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram colhidas 38.737,08 toneladas de cana-de-açúcar em uma área de 400,17 ha, na safra 2010/2011. Assim, a produtividade média da cultura foi de aproximadamente 96,8 t ha⁻¹, que foi obtida pela razão entre a quantidade total de cana-de-açúcar colhida em toneladas e a área total em hectares, conforme os dados da Tabela 2.

Tabela 2 - Informações técnicas sobre as variedades analisadas na safra 2010/2011.

| Parcela | Variedade | Estágio de corte | Quantidade colhida (t) | Área colhida (ha) | Produtividade (t ha ⁻¹) | Fibra (%) | POL da Cana-de-açúcar ¹ (%) |
|---------|-----------|------------------|------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------|--|
| 1 | SP 813250 | 1º corte | 8.560,57 | 53,18 | 160,97 | 11,75 | 13,75 |
| 2 | SP 813250 | 2º corte | 5.501,37 | 49,64 | 110,83 | 11,75 | 14,01 |
| 3 | SP 813250 | 2º corte | 4.844,20 | 41,06 | 117,98 | 11,67 | 14,55 |
| 4 | SP 803280 | 7º corte | 3.967,22 | 50,36 | 78,78 | 12,54 | 15,75 |
| 5 | PO 8862 | 4º corte | 1.394,06 | 17,76 | 78,49 | 11,77 | 14,53 |
| 6 | PO 8862 | 4º corte | 2.354,28 | 31,65 | 74,38 | 12,16 | 14,69 |
| 7 | SP 891115 | 6º corte | 2.065,07 | 25,55 | 80,82 | 11,65 | 14,03 |
| 8 | RB 855453 | 6º corte | 1.890,82 | 26,36 | 71,73 | 11,56 | 13,97 |
| 9 | RB 835486 | 7º corte | 133,00 | 1,69 | 78,70 | 11,38 | 13,96 |
| 10 | RB 855536 | 4º corte | 2.157,82 | 28,32 | 76,19 | 12,16 | 14,98 |
| 11 | Várias | 3º corte | 4.071,78 | 51,93 | 78,41 | 11,87 | 14,46 |
| 12 | Várias | 3º corte | 1.796,89 | 22,67 | 79,26 | 11,42 | 14,29 |
| Total | | | 38.737,08 | 400,17 | | | |

¹O termo POL (%) de cana-de-açúcar refere-se a quantidade em peso da sacarose, quando a análise é feita na amostra de colmos desintegrados, em 100 ml de solução, medida pelo desvio ótico provocado pela solução, no plano de uma luz polarizada (STUPIELLO, 1987).

As análises de fibra (%) e POL da cana-de-açúcar (%), foram realizadas pelo laboratório da própria Usina, assim, foram obtidas informações que estavam disponíveis no banco de dados cedido pela empresa. Barbosa (2013) aponta que, para a escolha das variedades a serem plantadas, deve-se considerar a adaptabilidade à colheita mecânica, maturação, brotação da soqueira, produtividade, além das características tecnológicas exigidas pela indústria como POL da cana-de-açúcar (%), e, também o percentual de fibras, bem como sua adaptação ao ambiente de produção.

Para Lavanholi (2008), as variedades de cana-de-açúcar devem apresentar POL da cana-de-açúcar (%) acima de 12,5% e percentual de fibras no intervalo de no mínimo 8 % e máximo 14%. O autor indica que, com essas condições, a cana-de-açúcar é considerada própria, de acordo com sua composição química, para o processo de

produção de álcool e açúcar na indústria. Conforme as informações da Tabela 2, nota-se que todas as variedades analisadas apresentaram teores de sacarose e fibra exigidos pela indústria.

A colheita foi realizada no período de 19 de Julho a 9 de Agosto de 2011, o que resultou em 22 dias de safra, no entanto, tiveram 3 dias impróprios para a operação de colheita devido a chuvas. A jornada de trabalho da Usina é dividida em três turnos de oito horas, totalizando vinte e quatro horas de trabalho diário. Assim, o tempo disponível foi de 456 horas.

Na Tabela 3, estão descritos os apontamentos das máquinas utilizadas no processo de colheita quanto às horas que as máquinas estavam em funcionamento e horas que se encontravam paradas.

Tabela 3 - Aproveitamento do tempo disponível pelas máquinas.

| Descrição da operação | Situação | Horas |
|-----------------------------------|-----------------|---------------|
| Colheita de cana-de-açúcar crua | Funcionamento | 301,96 |
| Deslocamento com máquina | | 9,34 |
| Abastecimento e lubrificação | Manutenção | 9,11 |
| Limpeza de máquina | | 2,46 |
| Manutenção | | 26,89 |
| Troca de facas | | 3,18 |
| Verificação das máquinas | Administrativas | 1,40 |
| Chuva/Solo molhado | | 42,15 |
| Falta de caminhão | | 23,42 |
| Falta de trator | | 18,58 |
| Troca de turno | | 3,66 |
| Usina parada | | 7,88 |
| Aguardando operação | | 0,55 |
| Aguardando comboio | | 0,93 |
| Aguardando caminhão prancha | | 1,65 |
| Deslocamento com caminhão prancha | | 2,84 |
| Total | | 456,00 |

Verifica-se, na Tabela 4, que foram 301,96 horas de produção efetiva das máquinas e 9,34 horas despendidas com manobras de cabeceira e deslocamento das máquinas, isso representou um total de 311,30 horas de funcionamento das máquinas.

Também é possível verificar que as máquinas ficaram 41,64 horas em manutenção e 103,06 horas administrativas não aproveitadas devido à troca de turnos e demais interrupções, que resultou em 144,70 horas com as máquinas paradas.

Tabela 4 - Dados para estimativa dos indicadores de desempenho operacional.

| Descrição | Valores | Unidades |
|---|---------|---------------------------|
| Área de colheita | 400,17 | (ha ano ⁻¹) |
| Número total de dias considerados como o período de safra | 22,00 | (dias ano ⁻¹) |
| Número de dias impróprios no período de safra | 3,00 | (dias ano ⁻¹) |
| Jornada de trabalho | 24,00 | (h dia ⁻¹) |
| Horas inaproveitadas - Industrial/Climática | 72,00 | (h ano ⁻¹) |
| Horas produtivas - Produção | 301,96 | (h ano ⁻¹) |
| Horas de manobra - Manobra e Deslocamento | 9,34 | (h ano ⁻¹) |
| Horas indisponíveis - Manutenção preventiva e corretiva | 41,64 | (h ano ⁻¹) |
| Horas não produzidas - Administrativa | 103,06 | (h ano ⁻¹) |
| Número de linhas da colhedora | 1,00 | (unidades) |
| Espaçamento entre fileiras da cultura | 1,50 | (m) |
| Velocidade média de operação da colhedora | 3,80 | (Km h ⁻¹) |
| Produtividade média do canavial | 96,8 | (tha ⁻¹) |
| Capacidade de carga de uma carroceria | 12,00 | (t) |
| Número de carrocerias que compõe o transbordo | 2,00 | (unidades) |
| Distância média entre a colhedora e o veículo de transporte | 400,00 | (m) |
| Velocidade média de deslocamento do transbordo na ida | 7,00 | (km h ⁻¹) |
| Velocidade média de deslocamento do transbordo na volta | 10,00 | (km h ⁻¹) |

A capacidade de campo operacional foi de 0,88 ha h⁻¹ (Tabela 5) a qual representou a capacidade das máquinas e implementos e que incluiu os efeitos de fatores de ordem operacional. Esses efeitos foram representados por tempos consumidos no preparo das máquinas e em interrupções, além do tempo requerido pelo próprio trabalho da máquina quando em operação no campo.

A capacidade de campo efetiva foi estimada em 1,33 ha h⁻¹ (Tabela 5) e representou a capacidade básica das máquinas, isto é, a capacidade das máquinas realizarem a operação durante certo intervalo de tempo de produção efetiva. Por meio da razão entre a capacidade de campo operacional e a capacidade de campo efetiva obteve-se a eficiência de campo de aproximadamente 66%.

A capacidade de produção operacional da colhedora foi de 36,54 t h⁻¹, que foi obtida multiplicando-se a produtividade média do canavial e a capacidade de campo efetiva das colhedoras. A capacidade de campo efetiva das colhedoras foi de 0,38 ha h⁻¹ (Tabela 5), a qual foi calculada considerando a eficiência de campo e, também, que a máquina colhe uma linha de cana-de-açúcar por vez

em sua operação, com espaçamento entre as linhas da cultura de 1,5 metros e velocidade média de operação de 3,8 Km h⁻¹.

Ramos et al. (2014) avaliaram a velocidade de deslocamento de uma colhedora de cana-de-açúcar Case IH modelo A8800 e potência de 243 kW em função do nível de perdas. Os autores concluíram que a velocidade influencia nas perdas de matéria prima no campo, apresentando níveis baixos (< 2,5 %) para a menor velocidade (4,0 km h⁻¹) e níveis médios (2,5 – 4,5 %) para a maior velocidade (5,5 km h⁻¹).

Magalhães, Baldo e Cerri (2008) desenvolveram um sistema de sincronismo, com o objetivo de controlar a colhedora e o transbordo, a fim de evitar perdas com a cana-de-açúcar colhida, aumentar a capacidade operacional, e melhorar a eficiência de campo do conjunto mecanizado. Os autores concluíram que o sistema de sincronismo diminuiu as perdas em torno de 0,6 t ha⁻¹, isso equivale na redução de perdas de rebolos de 8,16%, quando comparado ao sistema de sincronismo desativado.

Tabela 5 - Indicadores de desempenho operacional.

| Descrição | Valores | Unidades |
|--|---------|-----------------------|
| Capacidade de campo operacional | 0,88 | (ha h ⁻¹) |
| Capacidade de campo efetiva | 1,33 | (ha h ⁻¹) |
| Eficiência de campo | 66,22 | (%) |
| Capacidade de campo efetiva da colhedora | 0,38 | (ha h ⁻¹) |
| Capacidade de produção operacional da colhedora | 36,54 | (t h ⁻¹) |
| Número de colhedoras | 3,51 | (unidades) |
| Tempo total do ciclo de transbordo | 0,83 | (h) |
| Tempo de carregamento do transbordo | 0,66 | (h) |
| Tempo de descarregamento do transbordo | 0,08 | (h) |
| Tempo de deslocamento do transbordo na ida | 0,06 | (h) |
| Tempo de deslocamento do transbordo na volta | 0,04 | (h) |
| Tempo total de deslocamento do transbordo | 0,10 | (h) |
| Capacidade de produção operacional do transbordo | 19,06 | (t h ⁻¹) |
| Número de transbordos para atender uma colhedora | 1,92 | (unidades) |

Foi estimado um número de 3,51 colhedoras (Tabela 5), ou seja, aproximadamente 4 colhedoras como sendo o número de máquinas para realizar a operação de colheita por meio da razão entre a capacidade de campo efetiva, que representa a capacidade das máquinas realizarem a operação de colheita sobre a área determinada durante o tempo disponível, e a capacidade de campo efetiva da colhedora que considera a velocidade média de operação, a eficiência de campo, o espaçamento da cultura e o número de linhas da máquina.

O transporte interno foi realizado pelo conjunto de transbordo que recolheu a cana-de-açúcar colhida pela colhedora depositando-a no veículo de transporte. Na Usina analisada, cada transbordo é composto por um trator e duas carrocerias com uma capacidade de carga de 12 toneladas por carroceria. O tempo de carregamento do

conjunto de transbordo foi estimado em 0,66 horas (Tabela 5) que foi obtido pela razão entre a capacidade de carga do transbordo e a capacidade de produção operacional da colhedora.

O tempo de descarregamento foi estimado em 0,08 horas, conforme informações do fabricante da carroceria. O tempo total de deslocamento foi de 0,10 horas, o qual foi estimado considerando uma distância média de 400 metros da colhedora até o veículo de transporte e uma velocidade média de deslocamento na ida de aproximadamente 7 km h⁻¹, e de 10 km h⁻¹ na volta. O tempo total do ciclo do conjunto de transbordo foi de 0,83 horas, conforme dados da Tabela 5.

A capacidade de produção operacional do transbordo (Tabela 5) foi de 19,06 t h⁻¹, a qual foi obtida em função da capacidade de carga total do transbordo, do tempo total

do ciclo do transbordo e da eficiência de campo. Com isso, foi estimado um número de 1,92 transbordos, ou seja, aproximadamente dois conjuntos de transbordos para atender uma colhedora, o qual foi obtido pela razão entre a capacidade de produção operacional da colhedora e a capacidade de produção operacional do transbordo. Isso resulta num total de oito conjuntos de transbordo para a operação de colheita, uma vez que foram dimensionadas quatro colhedoras.

Para Carvalho Filho (2000), a velocidade de operação é uma importante variável de desempenho operacional na colheita mecanizada. O autor realizou um estudo com uma colhedora com motor de 213 kW de potência, a variedade colhida foi a RB 83-5089, a qual apresentou uma produtividade média de 176,26 t ha⁻¹, em espaçamento de 1,4m, terceiro corte de cana-de-açúcar crua. O autor destacou que tanto as velocidades de operação mais baixas, de 1,5 e 3 km h⁻¹, como as velocidades mais altas, entre 5 e 7 km h⁻¹ apresentaram diferenças estatísticas relevantes quanto à capacidade de campo efetiva, assim, concluiu que as baixas velocidades e eficiências de campo elevam o custo por tonelada de cana-de-açúcar colhida.

Romero et al. (1993), em um estudo realizado em Tucumán, Argentina, com duas colhedoras de cana-de-açúcar Class, modelos Gladiator e 2000, apontaram que a máquina Gladiator operando em velocidades de 4,9; 3,6; 5,6 e 5,7 km h⁻¹, a capacidade efetiva foi de 40, 40, 51 e 56 t h⁻¹, respectivamente. Já com a máquina 2000, em velocidades de 3,5 e 5,8 km h⁻¹, a capacidade efetiva foi de 31 e 58 t h⁻¹, respectivamente.

Rozeff (1989), em ensaio com uma colhedora de cana-de-açúcar Class 1400 no Estado do Texas, com queima prévia da variedade CP 70-321, em diferentes velocidades de operação 1,4; 2,5; 4,2 e 5,6 km h⁻¹, destacou que a capacidade campo efetiva foi de 17,4; 28,5; 54,2; e 91,6 t h⁻¹ respectivamente.

Ripoli et al. (2001) realizaram um ensaio com uma colhedora de cana-de-açúcar crua e apontaram que a velocidade de 5,39 km h⁻¹ apresentou o melhor desempenho econômico, com valores de 0,66 a 3,82 US\$ t⁻¹ de cana-de-açúcar colhida. Os mesmos autores também constataram que o processo de colheita teve o melhor desempenho econômico com uma eficiência de campo de 60%. Isso indica que quanto maior for a eficiência de campo os custos operacionais das operações de colheita são menores.

4 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a metodologia utilizada para estimar os indicadores de desempenho operacional auxilia no planejamento das operações de colheita tanto para o dimensionamento do número de máquinas e implementos quanto para a projeção dos indicadores de desempenho das operações de corte e carregamento da cana-de-açúcar, os quais contribuem para o monitoramento e controle dessas operações.

5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. Agricultural Machinery Management Data. **ASABE D497.7**: standards. St. Joseph, 2011. 8 p.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. **Yearbook of standards 1983-1984**. St. Joseph, 1983. 140 p.

BARBOSA, V. F. A. M. Sistemas de plantio. In: SANTOS, F.; BORÉM, A. (Ed.). **Cana-de-açúcar: do plantio à colheita**. Viçosa: Edição dos editores, 2013. p. 27-48.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2012.

BRASIL. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Ativos da cana de açúcar**. 4. ed. Brasília: 2012a. Disponível em: <http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/ativos_CANA_4-web.pdf>. Acesso em: 3 set. 2013.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2012: resultados preliminares**. Brasília, DF, 2012b. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf>. Acesso em: 10 set. 2012.

CARVALHO FILHO, S. M. **Colheita mecanizada: desempenho operacional e econômico em cana sem queima prévia**. 2000. 108 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CORREIA, E. L. **A retomada do uso de álcool combustível no Brasil**. 2007. 86f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)-Faculdade de Economia e Administração, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

FURLANI NETO, V. L.; FERNANDES, J. E.; MIALHE, L. G. Ensaio preliminar com colhedora Massey-Fergusson 201 – canecommander. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 1, p. 11-15, 1977.

GAZON, A. L. Canavial Mecanizado. **Farm Forum**. Curitiba, v. 1, n. 26, p. 11, 2009. Disponível em: <<http://www.caseih.com/brazil/Sobre-Nos/Documents/Revista%20N%2026.pdf>>. Acesso em: 5 maio. 2015.

LAVANHOLI, M.G.D.P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 697-722.

MAGALHAES, P. S. G.; BALDO, R. F. G.; CERRI, D. G. P. Sistema de sincronismo entre a colhedora de cana-de-açúcar e o veículo de transbordo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 274-282, abr./jun. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162008000200008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 maio. 2015.

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

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

MIALHE, L. G.; RIPOLI, T. C. C. **Evaluación de cosechadoras automotrices de caña de azúcar**. Caracas: Distribuidora Venezolana de Azúcares, 1976. p. 189-204.

NOVAES, M. R. et al. Análise espacial da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar: perspectivas futuras ao cumprimento do protocolo agroambiental. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 572-583, maio/jun. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000300017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 maio 2015.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. 2. ed. Piracicaba: Edição dos Autores, 2009. 333 p.

RIPOLI, T. C. C. et al. Desempenho econômico de colhedora em cana crua. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 12, n. 1, p. 1-5, 2001.

RAMOS, C. R. G. Qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n.2, p. 87-94, abril-junho, 2014.

RODRIGUES, E. B.; ABI SAAB, O. J. G. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Bandeirantes – PR. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 4, p. 581-588, out./dez. 2007.

ROMERO, M. L. C. et al. Evaluación de nuevas cosechadoras integrales. **Avance Agroindustrial**, Tucumán, v. 13, n. 52, p. 24-28, mar. 1993.

ROZEFF, N. The effects of operating velocity on productivity in green and burned sugar cane. **Sugar Cane**, Foster City, v. 1, n. 1, p. 7-19, nov. 1989.

SANTOS, N. B. **Identificação dos fatores críticos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-19102011-090951/pt-br.php>>. Acesso em: 13 jun. 2013.

STUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 761-804.

WITNEY, B. **Choosing and using farm machines**. Madison: Longman Scientific & Technical, 1988. 412 p.