

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESEMPENHO OPERACIONAL DA COLHEITA MECANIZADA DE
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE
DE DESLOCAMENTO E ROTAÇÃO DO MOTOR DA COLHEDORA**

CARLOS RENATO GUEDES RAMOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Julho – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESEMPENHO OPERACIONAL DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-
AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE
DESLOCAMENTO E ROTAÇÃO DO MOTOR DA COLHEDORA**

CARLOS RENATO GUEDES RAMOS

Orientador: Professor Doutor Kléber Pereira Lanças

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Julho – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R175d Ramos, Carlos Renato Guedes, 1985-
Desempenho operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora / Carlos Renato Guedes Ramos. - Botucatu : [s.n.], 2013
viii, 72 f. : tabs., grafs., ils., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Kléber Pereira Lanças
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Colheita. 2. Consumo de combustível. 3. Mecanização agrícola. 4. Máquinas agrícolas - Desempenho. I. Lanças, Kléber Pereira. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “DESEMPENHO OPERACIONAL DA COLHEITA MECANIZADA DE
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE
DE DESLOCAMENTO E ROTAÇÃO DO MOTOR DA COLHEDORA”

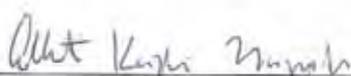
ALUNO: CARLOS RENATO GUEDES RAMOS

ORIENTADOR: PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS



PROF. DR. ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA



PROF. DR. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Data da Realização: 25 de julho de 2013.

DEDICO

Incontestavelmente aos meus pais, Carlos Roberto de Goes Ramos e Nailce Guedes Ramos, por serem exemplares, pelo apoio e dedicação a mim ao longo da minha vida.

Aos meus irmãos Paulo Henrique e Roberta.

A toda a minha família que sempre torceu pelo meu sucesso.

“...Se avexe não

Toda caminhada começa no primeiro passo
A natureza não tem pressa, segue seu compasso
Inexoravelmente chega lá...”

Accioly Neto

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter guiado meus passos pelo melhor caminho.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e a Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu pela oportunidade de estudo e realização do mestrado.

Ao Professor Doutor Kléber Pereira Lanças, um exemplo de humildade e de dedicação à vida acadêmica, pela orientação no mestrado, apoio e principalmente por me receber carinhosamente como um dos seus filhos na família NEMPA.

Aos Professores Doutores Paulo Arbex, Alberto Nagaoka e Saulo Guerra pelos ensinamentos e contribuição para o enriquecimento do meu trabalho.

Aos colegas Rafael, Roger e Richer pela ajuda na coleta dos dados da minha dissertação junto a Usina Santa Cândida.

Aos amigos do NEMPA, Fabrício Masiero, Camilo Giachini, Indiamara Marasca, Emanuel Spadim, Luis Balestrin, Marcelo Denadai, João Victor e Diego Fiorese.

Aos amigos em Botucatu, Leandro Tavares, Tiago Correia, Saulo Fernando, Alisson Mota, Magnun Penariol, Vinícius Paludo,

Aos amigos da República Zona Azul, Fernando Kassis, Rodolfo Chechetto, Evandro Prado, Alexandre Lima, Emerson Córdova, Felipe Machado, Luiz Pannuti, Ulisses Gandolfo, Lucas Viegas e Jefferson Sandi, pela ótima convivência.

Aos amigos da República Alagoas, minha segunda casa em Botucatu, Gabriel Lyra, Givaldo Neto, Lucas Holanda, Magno Abreu e Anderson Ravanny.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

	SUMÁRIO	Página
LISTA DE TABELAS		VI
LISTA DE FIGURAS		VII
RESUMO		1
SUMMARY		3
1 INTRODUÇÃO.....		5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA		7
2.1 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar		7
2.2 Desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar		11
2.3 Qualidade da matéria-prima colhida		14
2.4 Perdas de matéria-prima		17
2.5 Consumo de combustível de colhedoras de cana-de-açúcar		20
3 MATERIAL E MÉTODOS		22
3.1 Local do experimento.....		22
3.2 Colhedora utilizada		23
3.3 Tratamentos e critérios de amostragens		24
3.4 Determinação da velocidade de deslocamento		26
3.5 Determinação da produtividade agrícola		26
3.6 Determinação da capacidade efetiva de matéria-prima colhida.....		27
3.7 Determinação das perdas visíveis de matéria prima		28
3.8 Eficácia de manipulação		30
3.9 Avaliações de qualidade da matéria-prima colhida		30
3.9.1 Amostragem da matéria-prima colhida		30
3.9.2 Classificação das impurezas encontradas na matéria-prima		32
3.9.3 Frequência de comprimento e índice de fissura dos rebolos.....		34
3.10 Determinação da altura de toco e abalo de soqueiras		35
3.11 Determinação do consumo de combustível.....		36

3.11.1 Consumo horário de combustível ($L h^{-1}$)	38
3.11.2 Consumo de combustível por área ($L ha^{-1}$)	38
3.11.3 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida ($L t^{-1}$) .	38
3.12 Análise estatística.....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Produtividade agrícola no talhão colhido.....	40
4.2 Produtividade agrícola de colmos no talhão	41
4.3 Produtividade agrícola de colmos colhidos	42
4.4 Capacidade efetiva de matéria-prima colhida ($t h^{-1}$).....	42
4.5 Perdas visíveis de matéria-prima	44
4.6 Eficácia de manipulação	46
4.7 Qualidade da colheita.....	47
4.7.1 Rebolos presentes na matéria-prima colhida.....	47
4.7.2 Impurezas vegetais na matéria-prima.....	48
4.7.3 Impurezas minerais na matéria-prima colhida	50
4.7.4 Frequência de comprimento dos rebolos.....	51
4.7.5 Índice de Fissura dos rebolos	53
4.8 Altura de toco e abalo de soqueiras.....	54
4.9 Consumo de combustível	55
4.9.1 Consumo horário efetivo de combustível ($L h^{-1}$)	55
4.9.2 Consumo de combustível por área ($L ha^{-1}$)	58
4.9.3 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida ($L t^{-1}$) ...	60
5 CONCLUSÕES	62
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrições das perdas visíveis de matéria prima em colheita mecanizada.	18
Tabela 2. Colhedora utilizada no experimento.	24
Tabela 3. Classificação das perdas de matéria-prima (%).	29
Tabela 4. Classificação de impurezas minerais.	33
Tabela 5. Classificação de impurezas vegetais.	34
Tabela 6: Frequência de distribuição do comprimento de rebolos (cm) para todos os tratamentos.	52
Tabela 7: Porcentagem da altura de toco (cm) e classificação de danos às soqueiras avaliadas em todos os tratamentos.	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Fazenda Nossa Senhora Aparecida.....	22
Figura 2. Colhedora Case A8800 utilizada no experimento.....	23
Figura 3. Imagem do canavial colhido durante o experimento.	25
Figura 4. Balança para pesagem do transbordo.....	27
Figura 5. Demarcação da área para separação e pesagem das perdas.	29
Figura 6. Perdas visíveis de matéria prima industrializável encontrada no campo.....	30
Figura 7. Coleta das amostras do elevador da colhedora (esquerda) para análise de qualidade da matéria-prima colhida e tambores com saco plástico e material recolhido (direita).	31
Figura 8. Amostra para determinação da qualidade da matéria-prima colhida.	32
Figura 9. Limpeza e separação do material para análise das impurezas minerais.	33
Figura 10. Impurezas mineral (esquerda) e vegetal (centro e direita) encontradas na matéria-prima.....	34
Figura 11. Determinação da frequência de comprimento e índice de fissura.	35
Figura 12. Tabela para a classificação dos danos às soqueiras. Adaptado de KROES	36
Figura 13. Fluxômetros instalados na entrada e no retorno do tanque da colhedora para determinação do consumo de combustível.....	37
Figura 14. Controlador lógico programável (CLP) para leitura instantânea dos dados.	37
Figura 15. Variabilidade espacial da produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$) nas fileiras colhidas.	40
Figura 16. Média da produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$) de colmos no talhão para todos os tratamentos.	41
Figura 17. Média da produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$) de colmos colhidos para todos os tratamentos.	42
Figura 18. Médias de capacidade efetiva de matéria-prima dos tratamentos ($t\ h^{-1}$).....	43
Figura 19. Média de capacidade efetiva de matéria-prima ($t\ h^{-1}$) em cada nível de velocidade.....	43
Figura 20. Porcentagem de perdas visíveis de matéria-prima dos tratamentos.....	44
Figura 21. Média das perdas visíveis de matéria-prima nas velocidades 4,0 e 5,5 $km\ h^{-1}$	45

Figura 22. Média das eficácias de manipulação (%) dos tratamentos.....	46
Figura 23. Média das eficácias de manipulação (%) das três rotações do motor avaliadas em cada nível de velocidade.	47
Figura 24. Média da porcentagem de rebolos presentes na matéria-prima em todos os tratamentos.	48
Figura 25. Impurezas vegetais (%) presentes na matéria-prima em todos os tratamentos.	49
Figura 26. Simulação das impurezas vegetais (%) presentes na matéria-prima em todos os tratamentos.	50
Figura 27. Impurezas minerais (%) presentes na matéria-prima colhida para cada tratamento.	51
Figura 28. Qualidade do cisalhamento dos rebolos presentes na matéria-prima colhida...	53
Figura 29. Média do consumo efetivo de combustível dos tratamentos ($L h^{-1}$).....	56
Figura 30. Média do consumo efetivo de combustível ($L h^{-1}$) das duas velocidades avaliadas, em cada nível de rotação.....	57
Figura 31. Média do consumo efetivo de combustível ($L h^{-1}$) das duas velocidades avaliadas.	57
Figura 32. Média do consumo efetivo de combustível ($L h^{-1}$) dos três níveis avaliados de rotação do motor.	58
Figura 33. Média do consumo de combustível por área dos tratamentos ($L ha^{-1}$).	59
Figura 34. Média do consumo de combustível por área ($L ha^{-1}$) das duas velocidades avaliadas.	59
Figura 35. Média do consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida ($L t^{-1}$) dos tratamentos.	60
Figura 36. Média do consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida ($L t^{-1}$) das duas velocidades avaliadas.	61

RESUMO

A mecanização da colheita da cana-de-açúcar traz benefícios de ordem ambiental, econômica e social para o Brasil. Além de evitar a queima da palha antes da colheita, promove a necessidade de capacitação da mão-de-obra ao tornar os antigos cortadores em operadores de colhedoras, tratores, técnicos em eletrônica, etc. A expansão das lavouras de cana-de-açúcar no Brasil é um dos fatores que mais favorece a utilização e, principalmente, o desenvolvimento do sistema de colheita mecanizada, visto que as diferenças encontradas no que diz respeito ao relevo, solo e clima das regiões produtoras, são fundamentais na tomada de decisão, com relação ao modelo de colhedora que será utilizado, seja ela para colheita de uma ou duas linhas, com rodados de pneus ou esteiras, sendo estes, fatores relevantes que irão promover maior rendimento operacional e econômico e com melhor qualidade da matéria-prima colhida. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o desempenho operacional e o consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar em função da rotação do motor e da velocidade de deslocamento, visando a adequação da operação de colheita em relação a qualidade do material colhido. O experimento foi conduzido em um canavial colhido sem queima prévia, sendo a cana-de-açúcar da variedade RB 855156 em seu segundo estágio de corte e com porte classificado como deitado. O espaçamento entre fileiras era de 1,5m e a produtividade agrícola média foi de 94,23 t ha⁻¹. Foram selecionadas duas velocidades de deslocamento para a colhedora, sendo uma velocidade de 4,0 km h⁻¹ (V1) e a outra velocidade de 5,5 km h⁻¹ (V2). Foram utilizadas três diferentes rotações do motor da colhedora, sendo a rotação M1 de 1800 rotações por minuto (rpm), a rotação M2 de 1950

rpm e a rotação M3 de 2100 rpm. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott. Os resultados obtidos mostraram que quanto maior a velocidade de deslocamento e a rotação do motor, maior foi o consumo horário de combustível da colhedora; porém, os melhores resultados para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida foram obtidos na maior velocidade de deslocamento da colhedora ($5,5 \text{ km.h}^{-1}$) e na menor rotação do motor (1800 rpm). Não houve diferenças significativas nas impurezas vegetais e minerais dos tratamentos, contudo o aumento da velocidade proporcionou o aumento significativo das perdas de matéria-prima e a diminuição da eficácia de manipulação da colhedora, com diferenças estatísticas. O aumento da velocidade de deslocamento e da rotação do motor da colhedora causou perda de qualidade do corte dos rebolos colhidos.

OPERATIONAL PERFORMANCE OF MECHANIZED HARVEST OF SUGAR CANE AS A FUNCTION OF THE MACHINE FORWARD SPEED AND ENGINE ROTATION

Botucatu, 2013. 71p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CARLOS RENATO GUEDES RAMOS

Adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

SUMMARY

The sugar cane harvest mechanization provides environmental, economic and social benefits for Brazil. Besides there is no need to burn the straw before harvesting, also promotes the necessity of change the hand labor, who were sugar cane cutters, in operators of harvesters, tractors, electronics technicians, etc. The expansion of sugar cane cultivation in Brazil has been providing the use and development of the mechanized harvesting system. However, the differences according to topography, soil and climate of the producing regions are critical in decision regarding to the harvester model, if equipped with wheel or tracks, and one or two harvesting lines. These factors have been relevant to provide greater operational and economic efficiency with best quality of harvesting process. These tests aimed to evaluate the influence of engine rotation and machine forward speed on the operational performance and fuel consumption of a sugar cane harvester. The tests were conducted in green harvested canes, variety RB 855156 in its second cut and its relative position from the ground was classified as lying down. The spacing between plant rows was 1.5 m and yields were around 94.23 t ha^{-1} . Were used two machine forward speeds, being the first speed 4.0 km h^{-1} (V1), and the second speed 5.5 km h^{-1} (V2). Were used three different engine rotations, being the M1 of 1800 revolutions per minute (rpm), M2 of 1950 rpm and M3 of 2100 rpm. Data were subjected to analysis of variance and the averages were compared by Scott Knott test. The increase in machine forward speed and engine rotation caused more damage of the billets. The higher machine forward speed and engine rotation produced the greater fuel consumption per hour of the harvester; but the best results for fuel consumption per ton of sugar cane harvested was

obtained at a higher machine forward speed (5.5 km.h^{-1}) and lower engine rotation (1800 rpm). It was found no significant differences in vegetal and minerals impurities index. The increase of machine forward speed showed an significant increase in field losses indexes and reduced the efficacy index of the harvester.

Keywords: fuel consumption, instrumentation, harvester efficacy index, vegetal and minerals impurities index

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das mais importantes do agronegócio brasileiro, consolidando o país como o maior produtor mundial, ocupando uma área de 8,5 milhões de hectares destinada à produção sucroalcooleira e, mais recentemente, seus produtos residuais têm sido utilizados para a geração de energia elétrica renovável (bioeletricidade) a partir da queima do bagaço e do palhiço. Representando cerca de 18 % de toda a energia consumida no país, a cana-de-açúcar destaca-se como a segunda maior fonte de energia na matriz energética brasileira, tornando o setor responsável pela geração de 1,2 milhões de empregos diretos, com participação de US\$ 48 bilhões no PIB e 15 bilhões em exportações (UNICA, 2013).

Na safra 2012/2013 estima-se que foram processadas em torno de 595 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, considerando a safra do nordeste que se encerrou em meados de março, representando aumento de 6,2 % em relação à safra 2011/2012, que obteve 560 milhões de toneladas. A expansão de novas áreas tem ocorrido principalmente na região sudeste, com acréscimo de 368.683 hectares à área existente, seguido da região Centro-Oeste, com 233.840 hectares de área para expansão, sendo ambas responsáveis por 96% do total de área nova agregada ao processo produtivo da cana-de-açúcar no Brasil (CONAB 2013).

Diante da demanda dos biocombustíveis em substituição aos derivados de petróleo, a alteração do método de colheita tem ajudado a promover, a nível

mundial, a idéia da sustentabilidade do etanol combustível como fonte alternativa de energia, tendo forte apelo social e ambiental (MORENO, 2011).

Devido a esse crescimento e às contestações por parte do mercado consumidor e legislações ao processo produtivo da cana-de-açúcar, com relação aos efeitos da queima da palha em pré-colheita, sobre a saúde, a segurança, o impacto ao meio ambiente e a qualidade de vida nos meios urbanos próximos às plantações, a mecanização da colheita, além de tornar-se a principal responsável por adequar o sistema produtivo às leis ambientais vigentes, promove maior eficiência no abastecimento da indústria, bem como deveria proporcionar vantagens econômicas em relação ao sistema de colheita semimecanizado, o que ainda não está acontecendo por falta de adaptação dos plantios antigos, do treinamento dos operadores e da melhoria das colhedoras.

A qualidade operacional na colheita mecanizada de cana-de-açúcar é avaliada levando-se em consideração a sua eficácia tanto de capacidade operacional, como nas diversas operações do processo, sendo elas: limpeza da matéria-prima (ao final do processamento), qualidade tecnológica do material colhido e índice de perdas de matéria-prima industrializável durante a colheita, não se restringindo apenas a capacidade efetiva em kg.h^{-1} ou t.dia^{-1} , como é geralmente considerado em estudos do desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

A velocidade de deslocamento e a rotação do motor são fatores significantes no consumo de combustível de colhedoras de cana-de-açúcar, sendo que quanto maior a velocidade e rotação, maior o consumo horário de combustível. Contudo, a escolha da configuração de velocidade e rotação é influenciada pela condição da cultura no momento da colheita, sendo fator fundamental para a redução do consumo de combustível por tonelada colhida.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho operacional e o consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar em função da rotação do motor da colhedora e da sua velocidade de deslocamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

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, sem que houvesse a necessidade de queimar a palha da cultura.

Segundo Paranhos (1974), em nível internacional, o desenvolvimento de projetos e os estudos em máquinas para colheita de cana-de-açúcar tiveram início a partir da crescente dificuldade e encarecimento da mão-de-obra para o corte manual e do interesse na obtenção de aumento no desempenho das operações de colheita, com sua esperada redução de custos.

A mecanização da operação de colheita da cana-de-açúcar iniciou-se, no Brasil, na primeira metade da década de 50, com o surgimento das primeiras carregadoras de cana-de-açúcar que passaram a substituir o carregamento manual. A primeira cortadora auto-propelida para cana-de-açúcar foi fabricada em 1906 no Havaí, Estados Unidos da América. Na década de 60, na Austrália, foi lançado um novo modelo de máquina para corte de cana-de-açúcar, que era chamado de colhedora combinada. Entre os anos de 1958 e 1961, a fabricante nacional SANTAL desenvolveu a primeira cortadora-carregadora do Brasil, que se tratava de um conjunto de mecanismos montados sobre um trator de esteiras Caterpillar, sendo denominada de SANTAL SL. A importação de tecnologias estrangeiras em máquinas de colher cana-de-açúcar mecanicamente,

provenientes, principalmente, da Austrália e da Alemanha, marcou o início da década de 70. Ao final desta mesma década, mais precisamente em 1978, deu-se início a fabricação da primeira colhedora auto-propelida totalmente nacional, que foi a SANTAL 115 (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Segundo Ripoli (1996), existem três sistemas de colheita da cana-de-açúcar, o manual, em que tanto o corte de base quanto o carregamento é realizado por trabalhadores braçais; o semi-mecanizado, sendo o que foi mais utilizado por produtores autônomos, que consiste no corte manual da cana-de-açúcar (geralmente queimada) e carregamento mecanizado com uso de carregadoras e o mecanizado, que é realizado por colhedoras que cortam, picam, limpam e carregam a cana-de-açúcar em outro veículo de transporte.

O que diferencia o sistema totalmente mecanizado do semi-mecanizado é a eliminação da queima da palha, do corte manual e do uso de carregadoras, pois, na colhedora, o corte basal dos colmos da cana-de-açúcar é realizado a partir do impacto de diversas lâminas acopladas a discos rotativos que formam o conjunto dos cortadores de base, a limpeza parcial do material colhido é realizada por exaustores que separam a palha dos colmos cortados, os ponteiros são separados e lançados ao chão pelos cortadores de pontas e ainda há o fracionamento dos colmos por um conjunto de facões em rolos sincronizados dentro da máquina. Esse material é jogado diretamente em um caminhão (transbordo) que por sua vez transfere a cana-de-açúcar colhida para outro caminhão (Rodotrem ou outro) com maior capacidade de carga, para então a cana-de-açúcar ser transportada para a indústria (COELHO, 2009). Essa evolução deveria proporcionar não apenas menores custos em relação à colheita manual, como também maior eficiência no abastecimento da indústria, possibilitando melhor programação de colheita, pois a máquina substitui o trabalho realizado por 100 pessoas, podendo chegar a uma capacidade de colheita de 15 a 20 t h⁻¹ contra 5 a 6 t dia⁻¹ por pessoa, evitando problemas de escassez de mão-de-obra ou imprevistos como greves, tornando a mecanização da colheita da cana-de-açúcar um processo em ascensão (COSTA NETO, 2006).

Atualmente, as colhedoras de cana-de-açúcar existentes no mercado estão em pleno desenvolvimento, cada vez mais adquirindo tecnologias que além de simplificar o processo de colheita para o operador, fornecem uma quantidade de dados que permitem melhorar o gerenciamento do que está sendo realizado no campo e,

principalmente, maximizam os ganhos com capacidade operacional, aproveitamento energético e qualidade do material colhido. Contudo, o sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar tem sido constantemente discutido em vários aspectos, no que diz respeito às modificações necessárias para que haja uma melhoria na adequação entre as máquinas existentes no mercado e as particularidades dos canaviais de cada uma das unidades produtoras.

O avanço da mecanização na colheita da cana-de-açúcar ocorre principalmente em áreas com topografia adequada, ou seja, com declividades menores que 12%. Contudo, ainda são necessárias diversas alterações técnicas, como: sistematização dos solos e dimensionamento de talhões para evitar excesso de manobras; determinação do espaçamento mais adequado associado a um paralelismo na sulcação, para que evite o pisoteio da soqueira da cana-de-açúcar, além da adoção de variedades adequadas à colheita mecanizada, havendo, ainda, aquelas mudanças relacionadas a capacidade operacional das máquinas, melhorias na qualidade de matéria-prima colhida e na redução das perdas, o que proporcionaria ganhos capacidade de colheita e produtividade agrícola para a cultura (BENEDINI; DONZELLI, 2007).

Entende-se por sistematização, a adequação da área que será cultivada, com a finalidade de proporcionar o máximo rendimento operacional, tendo como principais fatores, o nivelamento do terreno, o paralelismo entre as fileiras de plantio, a retirada de pedras e restos de materiais estranhos e a alocação de estradas e carregadores (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Volpato (2001) afirma que a operação das colhedoras é dificultada à medida que aumentam os desníveis dos talhões, assim como a presença de buracos, pedras e tocos, resultando em maiores perdas de matéria prima, aumento no índice de impurezas e necessidade de manutenção das máquinas com maior frequência.

Outro fator constantemente questionado nas lavouras de cana-de-açúcar é com relação ao espaçamento mais adequado a ser utilizado nas diferentes condições de solos, variedades, clima, relevo e tipos de máquinas existentes no mercado. A escolha do espaçamento adequado é de fundamental importância por ser fator determinante na disponibilização de recursos como luz, água e temperatura, contribuindo diretamente para que haja não apenas aumento da produção, mas para que possibilite a otimização das atividades mecanizadas (SEGATO et al.,2006).

O intenso tráfego de máquinas colhedoras de cana-de-açúcar e caminhões transbordos em áreas que não foram devidamente sistematizadas, causa o pisoteio das fileiras de cana-de-açúcar, resultando em perda de vigor, falhas, bem como em menor desenvolvimento e população das plantas nas safras subsequentes (BENEDINI; CONDE, 2008).

Além dos efeitos do pisoteio na cultura, o tráfego de máquinas e implementos da colheita mecanizada sobre o solo cultivado com cana-de-açúcar pode aumentar de maneira significativa os índices de compactação do solo, refletindo em diminuição da produtividade ao longo das safras. Diversos autores citam que os efeitos da compactação são observados com o aumento da resistência à penetração das raízes, diminuição da aeração e drenagem interna dos solos, bem como o aumento do escoamento superficial, o que favorece a formação de processos erosivos (CARVALHO et al., 2011; ROQUE et al., 2011; STONE et al., 2002).

Benedini e Conde (2008) advertem que a mecanização da colheita de cana-de-açúcar realizada em espaçamentos entre fileiras reduzidos (0,90 a 1,10m) torna ainda mais grave os efeitos do pisoteio e compactação do solo, já que ocorre diminuição da área reservada para o tráfego. Os autores citam que a ação do pisoteio foi quantificada em torno de 10 t ha^{-1} de redução de produtividade em uma safra.

Estes fatos resultaram em conceitos como o desenvolvimento do tráfego controlado ou canteirização/envazamento da linha da soqueira, que nada mais é do que a adequação das bitolas de tratores e transbordos para evitar o pisoteio das soqueiras, resultando em maior espaço de solo sem compactação ao lado das soqueiras, propiciando melhor desenvolvimento do canavial e maior longevidade (BENEDINI; DONZELLI, 2007).

Além dos fatores citados anteriormente, o uso de variedades de cana-de-açúcar adequadas à colheita mecanizada é de fundamental importância, pois sabe-se que suas características fisiológicas e morfológicas interferem diretamente na qualidade do corte, da matéria-prima enviada à indústria e na brotação subsequente.

Para melhor adaptação e eficiência na colheita mecanizada, é desejável que a variedade de cana-de-açúcar possua como característica o sistema radicular profundo, produtividade agrícola acima de 88 t ha^{-1} , palmito curto, população uniforme de colmos, resistência à cigarrinha, boa capacidade de brotação sob a palha, diâmetro de

colmo de médio a grosso, seja vigorosa, de fácil despalha e, principalmente, possua porte ereto (CAMPANHÃO, 2000; JUNQUEIRA et al., 2008).

A elevada produtividade agrícola (acima de 120 t ha^{-1}) associada ao acamamento e/ou entrelaçamento, pode reduzir a capacidade de trabalho das colhedoras, pois, há a necessidade de diminuir a velocidade de deslocamento, a fim de evitar o embuchamento (excesso de material vegetal nos órgãos ativos de funcionamento da colhedora, provocando a paralisação destes) e o aumento das perdas. O porte da planta é importante para que seja facilitado o corte basal, dos ponteiros e melhor limpeza, havendo com isso menor ocorrência de interrupções, diminuição das perdas e impurezas. O sistema radicular profundo e o vigor da planta possibilitam a capacidade de sustentação para que haja o corte adequado. O corte imperfeito ou que dilacere o colmo não contribui apenas com o aumento das perdas, mas também causa maior deterioração e aumento da área de infecção, o que pode resultar na redução do brotamento (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

2.2 Desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar

A mecanização da colheita da cana-de-açúcar é recomendada não apenas por aumentar o rendimento operacional de corte ou por reduzir o impacto ambiental causado pela queima da palha ou de resíduos, mas especialmente pela possibilidade de reduzir os custos de produção e representar modernização para o setor (RIPOLI ; RIPOLI, 2009).

Segundo ASAE (1983); Furlani Neto et al. (1977); Mialhe e Ripoli (1976), o desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar foi definido como sendo um conjunto de atributos que caracterizam a habilidade da colhedora para a execução da colheita sob condições operacionais específicas. Dentre esses fatores encontram-se: a capacidade de colheita, a qualidade do processamento do produto, funcionalidade mecânica, ergonomia e segurança (MIALHE; CARRARO NETO, 1993).

Ripoli e Ripoli (2009) definiram a capacidade de colheita como a quantidade de trabalho que a máquina é capaz de executar na unidade de tempo, podendo ser efetiva ou operacional. Conforme os autores, a capacidade efetiva não considera os tempos perdidos em manobras de cabeceira e outras interrupções, além disso, tanto pode ser líquida, quando são levadas em consideração as perdas de matéria-prima no campo, como pode ser bruta, quando se considera apenas o material jogado no veículo de transporte, ou seja, é a relação entre uma produção obtida e o tempo efetivo decorrido na

execução da operação, dada em função da massa média de colmos presentes na fileira por metro, das perdas e principalmente da velocidade de deslocamento. Já a capacidade operacional, pode estar relacionada a uma jornada de trabalho ou a uma safra e considera a somatória do tempo efetivo de trabalho com todos os tempos de interrupções ocorridos durante a operação.

Segundo Oliveira (2002), a colheita mecanizada, em se tratando de peso, pode atingir uma faixa entre 500 a 1000 toneladas de cana-de-açúcar colhida por dia, dependendo do desempenho da máquina.

As condições, tanto do terreno como da cultura, são fatores fundamentais para o desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar, influenciando diretamente sua velocidade de deslocamento. Segundo os próprios fabricantes, as colhedoras têm capacidade de trabalhar em velocidades de até $9,0 \text{ km h}^{-1}$; contudo, o que tem sido visto no campo é o uso de velocidades entre $4,0$ a $6,0 \text{ km h}^{-1}$, possivelmente devido à falta de sistematização dos talhões, voltados à colheita mecanizada. A velocidade de deslocamento a ser utilizada em cada condição deve ser ajustada em função das características do talhão no que diz respeito à sistematização, porte do canavial e a produtividade agrícola estimada (RIPOLI ; RIPOLI, 2009).

Segundo Belardo (2010), com o aumento da velocidade de deslocamento das colhedoras de cana-de-açúcar durante a operação, há aumento nas capacidades de colheita, sendo elas, capacidade efetiva, capacidade efetiva bruta de matéria-prima, capacidade efetiva bruta de colmos e capacidade efetiva líquida de colmos.

Nery (2000) analisou as qualidades operacionais e econômicas da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, considerando quatro velocidades de operação como tratamentos, sendo elas: $1,5$; $3,0$; $5,0$; e $7,0 \text{ km h}^{-1}$ e eficiências de campo de 45, 55, 65 e 75%. O autor concluiu que o aumento da velocidade proporcionou aumento da capacidade efetiva bruta e o consumo de combustível, assim como o custo por tonelada de cana-de-açúcar colhida, diminuíram com o aumento da velocidade, sendo as duas maiores velocidades responsáveis pelos melhores desempenhos econômicos.

Em estudos para avaliação do desempenho operacional da colhedora Santal Amazón em canaviais com e sem queima prévia, Furlani Neto et al. (1996) obtiveram resultados de capacidade efetiva bruta de $57,8 \text{ t h}^{-1}$ em cana-de-açúcar sem queima prévia, com produtividade agrícola de $87,6 \text{ t ha}^{-1}$, utilizando velocidade de deslocamento de $4,65 \text{ km h}^{-1}$. Os autores apresentaram dados de perdas visíveis de matéria-

prima de 4,53%, matéria estranha mineral de 0,7% e matéria estranha vegetal de 8,1%. A partir de dados de colheita mecanizada de diversas usinas do Estado de São Paulo, os autores verificaram que, com o desenvolvimento tecnológico e a sistematização dos talhões, as atuais colhedoras de cana-de-açúcar, conseguem uma capacidade efetiva média de 60 t h^{-1} , com perdas totais no campo variando de 3 a 6 t ha^{-1} (3 a 5 %) e índice de matéria estranha total de 3 a 8%.

De León (2000) realizou um estudo com duas colhedoras com diferentes potências nos motores, tendo a colhedora “A” de 167 kW e a colhedora “B” de 213 kW. Para o estudo com ambas as colhedoras, foram utilizadas quatro velocidades de operação: 1,5; 3,0; 5,0 e $7,0 \text{ km h}^{-1}$. Os resultados obtidos, quanto à capacidade efetiva bruta de colmos foram de 26,44; 58,76; 93,11 e $141,26 \text{ t h}^{-1}$ para a colhedora “A” e de 30,64; 54,31; 102,08 e $131,93 \text{ t h}^{-1}$ para colhedora “B”, ambas nas velocidades de operação de 1,5; 3,0; 5,0 e $7,0 \text{ km h}^{-1}$, respectivamente. O autor concluiu que com o aumento da velocidade de operação, houve aumento na capacidade efetiva bruta de colmos em ambas as colhedoras; porém, não houve diferença estatística de desempenho entre as máquinas.

Mazzonetto (2004) estudando uma colhedora de cana-de-açúcar Cameco CHT 2500 em canavial com produtividade agrícola de $121,4 \text{ t ha}^{-1}$ e trabalhando a uma velocidade de $6,0 \text{ km h}^{-1}$, obteve capacidade efetiva bruta de matéria-prima de $59,2 \text{ t h}^{-1}$, capacidade efetiva líquida de matéria-prima de $56,47 \text{ t h}^{-1}$ e capacidade efetiva líquida de colmos colhidos de $52,83 \text{ t h}^{-1}$.

Belardo (2010) avaliou a capacidade de colheita de três colhedoras de cana-de-açúcar que são comercializadas no Brasil utilizando como tratamentos duas velocidades de deslocamento, $5,0 \text{ km h}^{-1}$ e $7,0 \text{ km h}^{-1}$, em um canavial de primeiro corte, com produtividade média de 100 t ha^{-1} . O autor concluiu que a capacidade de colheita efetiva bruta das três colhedoras não apresentou diferenças estatisticamente significativas na velocidade $5,0 \text{ km h}^{-1}$, com valores entre 80 e 90 t h^{-1} , enquanto na velocidade $7,0 \text{ km h}^{-1}$ houve diferença entre as colhedoras, com valores entre 107 e 130 t h^{-1} .

Giachini (2012) ao estudar as capacidades de campo (ha h^{-1}), efetiva e operacional, a eficiência (%) e a capacidade de colheita (t h^{-1}) de uma colhedora de cana-de-açúcar durante três turnos de trabalho, sendo o turno A das 08h01 às 16h00, B das 16h01 às 00h00 e C das 00h01 às 08h00, concluiu que o turno A apresenta os melhores resultados em todos os fatores, com melhor aproveitamento das horas disponíveis da colhedora para que fosse efetuada a colheita.

2.3 Qualidade da matéria-prima colhida

A matéria-prima com qualidade tecnológica considerada ideal para o processamento industrial deve conter colmos maduros ou em estágio avançado de maturação, sadios, recém-cortados, livres de impurezas e com o mínimo possível de ocorrência de pragas ou doenças (MAGALHÃES et al., 2008). Segundo os autores, a planta da cana-de-açúcar é composta pelo colmo industrializável (porção da planta que vai do solo ao ápice, até um ponto fácil de ser quebrado, representando 81,2% do total da biomassa), o ponteiro ou palmito (está acima do colmo, com cerca de 200 mm de comprimento e representa, cerca de, 6,1% do total), as folhas verdes do ápice (estão juntas aos ponteiros, 5,6%) e as folhas secas ou palha (estão unidas ao colmo pelas laterais, representam em torno de 7,1% do total).

A carga que resulta da colheita mecanizada deveria ser composta apenas de rebolos (parte do colmo, fracionada pela colhedora) de cana-de-açúcar, contudo, outros materiais indesejados também são encontrados. A qualidade tecnológica da matéria prima é caracterizada por padrões de qualidade (Brix, mínimo de 18%; Pol entre 14,4 e 15,3%; e pureza entre 80 e 85%) e é determinada por um conjunto de parâmetros que incluem o teor de matéria estranha incorporada aos rebolos de cana-de-açúcar, a deterioração dos produtos e suas influências nas diversas fases da industrialização, o que acaba definindo seu potencial para a fabricação de açúcar e álcool (SILVA, 2003).

As impurezas referem-se a tudo que acompanhe a matéria-prima que não seja colmos maduros, podendo ser divididas em impurezas vegetais (folhas verdes, palmito, raízes, palha e colmos secos) e impurezas minerais (solo solto ou aderido às raízes, pedras, etc.). As impurezas vegetais podem ser determinadas em níveis considerados satisfatórios numa faixa até 7% (SILVA, 2003).

Magalhães et al. (2008), afirma que a quantidade de matéria estranha que é levada junto com a cana-de-açúcar depende de fatores como a variedade de cana-de-açúcar que está sendo colhida, das condições do solo no momento da colheita e do tipo de máquina utilizada com suas especificidades nos sistemas de corte de base e limpeza.

Segundo Volpato (2001), a qualidade tecnológica da matéria-prima pode ser reduzida na colheita mecanizada quando as lâminas dos discos cortadores

trabalham em contato ou sob a superfície do solo, levando excessiva impureza mineral, além de arrancar o sistema radicular de soqueiras e carregá-los com a cana-de-açúcar.

A melhoria da qualidade do corte e da matéria-prima pode ser alcançada por meio de intervenções tanto na colheita propriamente dita, como nas outras práticas culturais (preparo de solo, plantio, espaçamento entre sulcos) e de mudanças nos projetos das colhedoras (SALVI, 2006).

Segundo Volpato et al. (2002), os cortadores de base que são utilizados nas colhedoras de cana-de-açúcar e forragens, estão fixados à estrutura da máquina e apesar do conjunto cortador basal possuir acionamento hidráulico que permite a variação na altura do corte para cortar os colmos em um ponto um pouco acima do nível do terreno, esses cortadores não possuem recursos adequados que permita o acompanhamento pantográfico do perfil do solo. Desta forma, quando a touceira da cana-de-açúcar se encontra em um sulco profundo, as lâminas trabalham carregando grande volume de terra e correndo-se o risco da soqueira ser destruída durante o corte. Por outro lado, o corte pode não ser realizado na altura desejada, deixando um toco muito alto, o que aumenta as perdas de campo e a probabilidade de ataque de insetos e doenças, devido aos danos gerados na soqueira remanescente. O autor afirma que essas condições promovem perdas em quantidade e qualidade, pela contaminação com terra e microrganismos do solo, além de aumentar o custo de processamento na indústria.

Segundo Magalhães e Braunbeck (1998) perdas de matéria-prima podem chegar, em certos casos, a mais de 10% e o recolhimento de terra, pela colhedora é da ordem de 3 a 5 kg t⁻¹ de matéria-prima colhida. A presença de impurezas na cana-de-açúcar a ser moída não apenas onera os custos de transporte e manutenção dos equipamentos industriais, como também reduzem a eficiência de moagem e extração de sacarose (VOLPATO, 2001; NEVES, 2003).

Moraes e Neves (1997) avaliando o desempenho de três modelos de colhedoras em duas variedades de cana-de-açúcar sem queima prévia obtiveram perdas em torno de 4%, as impurezas vegetais em torno de 9,9% e as impurezas minerais de, aproximadamente, 0,3%.

Belardo (2010) avaliou a matéria estranha mineral e vegetal de três colhedoras de marcas diferentes em duas velocidades de deslocamento, 5,0 e 7,0 km h⁻¹. O autor obteve valores para matéria estranha mineral que variam entre 0,50 a 0,92 % e 0,55 a 1,16 t ha⁻¹. Já para a matéria estranha vegetal, foram encontrados valores que variaram

entre 5,0 e 7,3% e 5,5 e 8,8 t ha⁻¹. Tanto os valores para matéria estranha mineral, quanto para vegetal não sofreram influência da velocidade de deslocamento, estando ambos concordando com outros valores encontrados na bibliografia.

Schmidt Junior (2011), avaliando um protótipo de colhedora de cana-de-açúcar, procurou a combinação ideal entre a velocidade de deslocamento e a velocidade do exaustor primário que proporcionasse menores perdas e presença de impurezas. O autor encontrou resultados de matéria estranha mineral que variaram entre 0,29 e 0,41%, matéria estranha vegetal entre 10,08 e 15,21% e perdas visíveis totais de 0,23 a 0,61 t ha⁻¹ e 0,29 a 0,82%. Os valores de matéria estranha mineral, matéria estranha vegetal e perdas visíveis totais de matéria-prima, foram respectivamente semelhantes, superiores e inferiores a bibliografia estudada.

Diversos autores citam que, quanto menores os rebolos presentes na matéria-prima colhida, maiores serão as densidades de carga, contudo isso aumenta a deterioração da cana-de-açúcar e aumenta as perdas invisíveis (FUELLING 1982; RIPOLI 1996; NEVES et al. 2003).

Fuelling (1982) avaliou os critérios de qualidade dos rebolos colhidos por colhedoras de cana-de-açúcar picada e concluiu que, para rebolos perfeitos, que se encontravam dentro do tamanho padrão (25 cm a 35 cm), o índice de deterioração foi menor que nos rebolos danificados e pequenos (menores que 25 cm). Para o autor, o tamanho ideal de comprimento dos rebolos fica em torno de 20 a 25 cm, pois pode diminuir a deterioração, a matéria estranha, as perdas e o custo com transportes, enquanto que rebolos estraçalhados em ambas as extremidades podem contribuir para a deterioração mais rápida da matéria-prima.

Ao avaliar o comprimento médio de rebolos cortados por duas colhedoras de cana-de-açúcar, De León (2000) obteve porcentagem maior que 50% para o comprimento médio de rebolos de 20 a 25 cm e todos os tratamentos apresentaram quantidade maior que 72,5% de colmos perfeitos.

Mazzonetto (2004) obteve colmos com tamanhos entre 6 a 10 cm e índices de cisalhamento com 60% do total de colmos com cortes perfeitos. O autor encontrou valores de eficácia de manipulação de 95,31%, perdas totais de 4,69% e matéria estranha vegetal de 6,3%, ou seja, dentro de limites aceitáveis.

2.4 Perdas de matéria-prima

Na colheita mecanizada em que não se queima o canavial para efetuar uma pré-limpeza da palha, os índices de perdas e de matéria estranha tendem a aumentar devido à maior massa vegetal que será processada pela colhedora (NEVES et al., 2004).

As perdas de cana-de-açúcar podem ser divididas em perdas visíveis e invisíveis, em que as primeiras são aquelas que podem ser detectadas visualmente no campo após a colheita, podendo ser colmos inteiros e/ou suas frações, rebolos e tocos resultantes no corte basal, enquanto as perdas invisíveis são na forma de caldo, “serragem” e estilhaços de cana-de-açúcar que ocorrem em razão da ação dos mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana-de-açúcar durante o processamento interno nas colhedoras (MORAES, 1992).

As perdas e a contaminação da cana-de-açúcar com terra durante o processo de colheita estão associadas diretamente ao acompanhamento inadequado do micro relevo do solo e da varredura ineficiente realizado pelo cortador basal (OLIVEIRA, 2002).

Para Mello e Harris (2003), os cortadores de base das colhedoras de cana-de-açúcar são responsáveis por causar alto volume de perdas de cana-de-açúcar, tanto de massa como por deterioração e de provocar a redução na produtividade potencial devido aos danos ocasionados na soqueira, que facilitam o ataque de fungos e doenças.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009) a variabilidade da altura de corte, assim como a manutenção inadequada das lâminas de corte basal, associada com características varietais do canavial, podem aumentar significativamente a porcentagem de tocos e rebolos rachados e mal cisalhados, o que pode acarretar em perdas visíveis e invisíveis.

Carvalho Filho (2000), em estudo de desempenho operacional e econômico da colheita mecanizada, concluiu que a velocidade de deslocamento da colhedora é um dos principais fatores que influenciavam o nível de perdas no campo. As principais perdas são aquelas que podem ser diagnosticadas visualmente no campo após a colheita ou presas na colhedora, sendo facilmente determinadas por meio de coleta manual (Tabela 1).

Magalhães et al. (2008) desenvolveram um sistema de sincronismo de velocidade, com a finalidade de controlar a colhedora de cana-de-açúcar 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 com o sistema de sincronismo ativado, as perdas de cana-de-açúcar diminuíram em torno de 0,6 t ha⁻¹, o equivalente a 8,16%, na redução de perdas de rebolos, quando comparado ao sistema de sincronismo desativado.

Tabela 1. Descrições das perdas visíveis de matéria prima em colheita mecanizada.

Tipo de Perdas	Especificação	Ilustração
Rebolo repicado	Fração do colmo com o corte característico do facão picador, em ambas as extremidades.	
Cana inteira	Fração de cana-de-açúcar com tamanho igual ou superior a 2/3 do comprimento total. Pode ou não estar preso ao solo pelas raízes.	
Cana-ponta	Fração de colmo deixada no solo e agregada ao ponteiro.	
Estilhaço	Fragmentos de cana-de-açúcar dilacerados.	
Toco	Fração do colmo cortada acima da superfície do solo, presa às raízes não-arrancadas, com comprimento menor ou igual a 0,2 m	
Pedaço Fixo	Segmento médio de cana-de-açúcar (maior que 0,20 m), que deve estar necessariamente preso ao solo.	
Pedaço Solto	Todas as variações visíveis de colmos sem as características que definam tocos, colmos inteiros, rebolos, lascas e cana-ponta e que estejam soltos.	

(FONTE: adaptado de REIS, 2009).

Apesar de ser fator importante na colheita de cana-de-açúcar picada, as perdas invisíveis são consideradas impossíveis de serem quantificadas no campo e por isso, raramente são levadas em consideração na bibliografia publicada (BURLEIGH et al. (1988), citado por MORAES (1992)).

Benedini et al. (2009) procurando quantificar as perdas invisíveis, observaram que essas perdas representam em torno de 2,0 a 5,5% das perdas totais e que as perdas invisíveis causadas pelos picadores são menores apenas que as perdas provocadas pelo corte de base.

Segundo Salvi (2006), as perdas de matéria-prima no campo têm relação diretamente proporcional à altura do corte de base da colhedora, ou seja, quanto maior for a altura do corte basal, maior será a altura de toco observada. Além disso, o autor cita que a quantidade de impureza enviada à indústria tem relação inversamente proporcional à altura do corte de base. A dificuldade em controlar a altura do corte de base das colhedoras de cana-de-açúcar é um dos fatores causadores não apenas de perdas, mas também de danos às soqueiras, diminuição da população de colmos e qualidade tecnológica da matéria prima.

Outro fator que está diretamente relacionado às perdas é a velocidade dos extratores que fazem a limpeza da matéria prima, pois na tentativa de diminuir os índices de matéria estranha na cana-de-açúcar colhida, o aumento da rotação dos extratores das colhedoras acaba elevando as perdas em níveis economicamente inaceitáveis (YOUNGER, 1980; MORAES, 1992; NEVES et al., 2004).

Segundo Moraes e Neves (1997), a possibilidade de haver maiores perdas de cana-de-açúcar, aumenta na medida em que se aumenta a eficiência de limpeza dos extratores. A alta velocidade do fluxo de ar, geralmente do extrator primário, causa a sucção dos toletes de cana-de-açúcar, que ao se chocarem com as pás do ventilador ficam dilacerados total ou parcialmente. Os autores afirmam que a definição de regulagens adequadas às diferentes condições de colheita se torna mais simples por meio de avaliações periódicas das perdas e impurezas.

Moraes (1992) ao avaliar as perdas invisíveis e as impurezas vegetais na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, concluiu que o extrator primário foi o ponto principal de perdas invisíveis, as quais não foram afetadas pelo extrator secundário.

Neves et al.(2006) afirmaram que o baixo desempenho das colhedoras, expresso pelos altos índices de perdas de matéria-prima, ou a baixa eficiência

de limpeza não está associado diretamente à velocidade de deslocamento da colhedora ou ao potencial de produção do canavial, mas ao gradiente do fluxo de ar na câmara de limpeza, que apresenta grande variação na velocidade do ar, interferindo na capacidade de limpeza da colhedora e, por consequência, nas perdas totais, visíveis e invisíveis.

Segundo Molina Jr. (2001), as perdas de rebolos inteiros estão ligadas a três pontos de processamento do material colhido, dentro da máquina: posição do processo onde ocorre o fracionamento dos colmos em rebolos; o sistema de limpeza através da intensidade de fluxo de ar associado ao comprimento e à massa dos rebolos; sistema, forma e posicionamento do dispositivo de descarga, incluindo a visibilidade do operador e a forma do veículo de recepção da matéria-prima.

Noronha et al. (2011) estudaram as perdas de matéria-prima da colheita mecanizada em turno diurno e noturno, e comprovaram que o aumento das perdas pode chegar a 20% a mais durante a colheita noturna. Os resultados de perdas totais demonstram que na colheita noturna ocorreram maiores perdas (11,2%) em relação à colheita diurna (9,3%). Além dos maiores percentuais de perdas, o autor observou que houve maior variabilidade nas perdas totais durante a colheita noturna, sendo esta tendência observada em todos os tipos de perdas, com exceção das perdas de pedaço solto.

Giachini (2012) avaliando o desempenho operacional de uma colhedora de cana-de-açúcar em diferentes turnos de trabalho encontrou menores valores de perdas durante o turno A, afirmando que as perdas aumentaram no turno B e foram maiores no turno C, sendo quantificadas em 0,92, 1,6 e 2,27 t ha⁻¹, respectivamente.

De acordo com avaliações realizadas pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), cerca de 10% da matéria-prima colhida é perdida no campo quando é utilizado o sistema de colheita mecanizada, o que representa prejuízos em torno de US\$ 450 milhões por ano (MAGALHÃES et al., 2006).

2.5 Consumo de combustível de colhedoras de cana-de-açúcar

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), considerando-se todas as etapas do sistema produtivo canavieiro a colheita junto com o transporte da matéria prima até a unidade industrial, representam cerca de 30% de todos os custos envolvidos (variedades, fertilizantes, mão de obra, agroquímicos, operações mecanizadas). Contudo, o maior agravante desta tecnologia é o alto consumo de combustível das colhedoras (cerca de 50 a 60 L h⁻¹).

Lyra (2012) avaliou o consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em canaviais com produtividade de 37,58 t ha⁻¹ e 102,07 t ha⁻¹, em função de diferentes rotações do motor da colhedora e velocidades de deslocamento. O autor concluiu que em canavial de baixa produtividade, a colhedora economizou mais de 17 litros por hora trabalhada, quando utilizou baixa rotação do motor, uma vez que a baixa produtividade não demandou alta potência para realização da colheita. Além disso, o autor afirma que, neste canavial, independente da faixa de velocidade utilizada, o consumo horário de combustível foi menor quando utilizada a menor rotação do motor.

O consumo horário de combustível é influenciado pela velocidade de deslocamento da colhedora, sendo que quanto maior for a velocidade, maior será o consumo horário de combustível e menor será o consumo por tonelada colhida (CARVALHO FILHO, 2000; NERY, 2000; BELARDO, 2010; SCHMIDT JR, 2011; LYRA, 2012).

Nery (2000) avaliou o consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar em quatro diferentes velocidades de operação, sendo elas: 1,34; 2,66; 5,27; e 7,68 km h⁻¹. O autor obteve consumos de combustível de 45,28; 49,77; 60,04; e 66,27 L h⁻¹ e 2,92; 1,25; 0,69; e 0,61 L t⁻¹, para as quatro velocidades avaliadas respectivamente.

Carvalho Filho (2000) em estudo de desempenho operacional e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar, concluiu que houve menor consumo horário de combustível na velocidade de 1,5 km h⁻¹ e maior consumo horário na velocidade de 7 km h⁻¹, enquanto que para o consumo de combustível em litros por tonelada colhida, ocorreu o inverso. Segundo o autor, as baixas velocidades e capacidades de campo elevam o custo por tonelada de cana-de-açúcar colhida, uma vez que a vida útil economicamente ideal para colhedora é de seis anos, já que a partir do sétimo ano o custo com reparo e manutenção torna-se bastante elevado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

As determinações de campo foram realizadas em junho de 2012 na Usina Santa Cândida, localizada no município de Bocaina, estado de São Paulo, com coordenadas geográficas: 22°06'22" de Latitude Sul, 48°28'46" de Longitude Oeste e altitude de 532 metros em relação ao nível do mar.

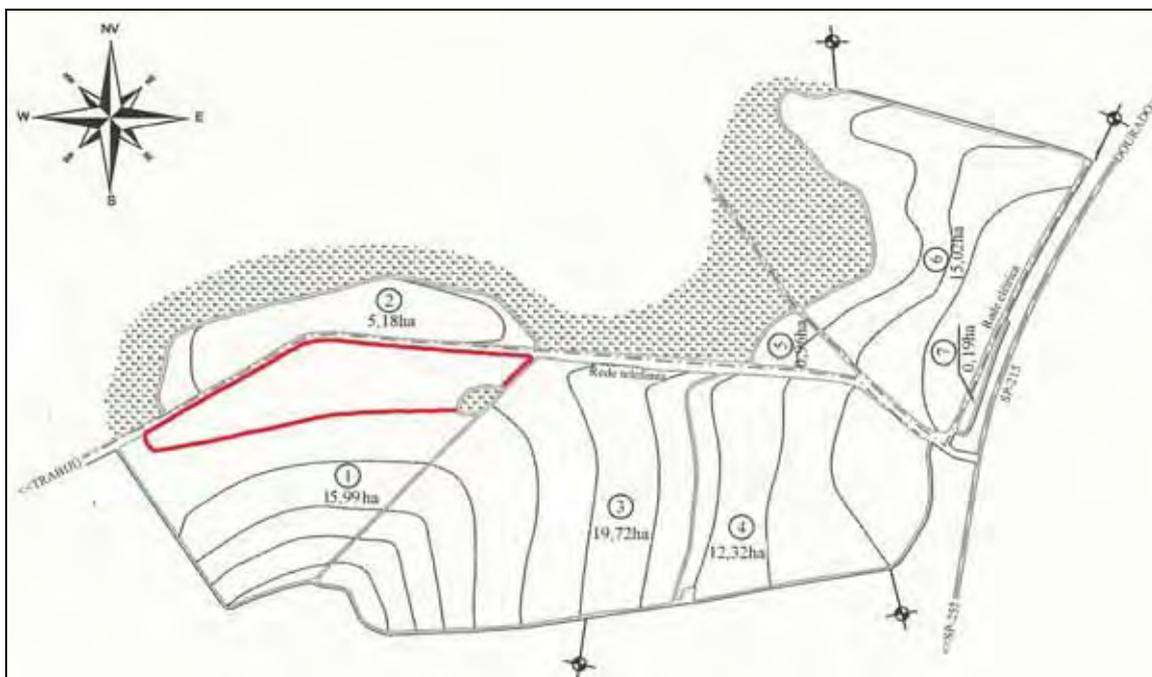


Figura 1. Localização da Fazenda Nossa Senhora Aparecida.

A colheita ocorreu sem queima prévia do canavial, na Fazenda Nossa Senhora Aparecida, sendo a cana-de-açúcar da variedade RB 855156 em seu segundo estágio de corte. O espaçamento entre fileiras utilizado foi de 1,5m e a produtividade média estimada pela usina era de 85 t ha⁻¹. O relevo do terreno era plano e encontrava-se em condições adequadas para a operação de colheita mecanizada, com sulcos apresentando paralelismo ideal.

3.2 Colhedora utilizada

Para todo o experimento foi utilizada uma única colhedora, mostrada na Figura 2 e com as características apresentadas na Tabela 2.



Figura 2. Colhedora Case A8800 utilizada no experimento.

Tabela 2. Colhedora utilizada no experimento.

Marca*	Case IH
Modelo*	A8800
Ano de fabricação	2010
Horímetro	8.130 horas
Motor	Scania DC9
Potência	330cv (243kW)
Sistema de injeção	Controle eletrônico
Cortadores de pontas	Tambor separador bidirecional.
Rodado	Esteiras
Rotação nominal	2100 rpm

*A citação de marcas e modelos não indicam recomendações de uso por parte do autor.

3.3 Tratamentos e critérios de amostragens

Foram selecionadas duas velocidades de deslocamento para a colhedora, sendo as velocidades de 4,0 km h⁻¹ (V1) e 5,5 km h⁻¹ (V2).

Foram utilizadas três diferentes rotações do motor da colhedora, sendo a rotação do motor M1 de 1800 rotações por minuto (rpm), a rotação M2 de 1950 rpm e a rotação M3 de 2100 rpm.

Durante o experimento, o software de controle automático (Smart cruise) responsável pela variação da rotação do motor em função da necessidade de potência da colhedora foi desligado com a finalidade de obter a variação desejada. Para todos os tratamentos foi utilizada a rotação do extrator primário de 1000 rpm e o cortador de pontas permaneceu desligado, pois o canavial encontrava-se deitado, seguindo as recomendações da usina. Os tratamentos aplicados durante a colheita foram:

- V1M1 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita V1 (4,0 km h⁻¹) e rotação do motor M1 (1800 rpm);

- V2M1 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita V2 (5,5 km h⁻¹) e rotação do motor M1 (1800 rpm);
- V1M2 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita V1 (4,0 km h⁻¹) e rotação do motor M2 (1950 rpm);
- V2M2 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita V2 (5,5 km h⁻¹) e rotação do motor M2 (1950 rpm);
- V1M3 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita V1 (4,0 km h⁻¹) e rotação do motor M3 (2100 rpm);
- V2M3 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita V2 (5,5 km h⁻¹) e rotação do motor M3 (2100 rpm).

Os tratamentos foram submetidos a seis repetições (cada repetição representou a colheita de uma fileira de planta com comprimento de 300 m), totalizando 36 parcelas experimentais. A Figura 3 mostra o canavial colhido.



Figura 3. Imagem do canavial colhido durante o experimento.

3.4 Determinação da velocidade de deslocamento

A determinação da velocidade de deslocamento foi realizada através do tempo gasto para percorrer cada parcela. A velocidade média foi obtida pela Equação 1:

$$Vel = \frac{L}{\Delta t} 3,6 \quad (1)$$

Em que:

Vel = velocidade de deslocamento da colhedora (km h^{-1});

L = comprimento da parcela experimental (m);

Δt = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s);

3,6 = fator de conversão.

3.5 Determinação da produtividade agrícola

A área correspondente às parcelas foi obtida a partir de fileiras de colheita com 300 metros de comprimento, medidas através de GPS.

A quantidade de matéria-prima colhida foi mensurada através da pesagem do veículo transbordo que acompanhou a colhedora, antes e depois da colheita da parcela, através de uma balança com interface para comunicação direta com computador possuindo 02 plataformas de pesagem, com capacidade máxima para leitura de 20 toneladas, conforme mostrado na Figura 4.

Com a produtividade agrícola de matéria-prima colhida mensurada (t ha^{-1}) através da pesagem e a análise da qualidade do material colhido (porcentagens de folhas, palha e ponteiros), pôde-se mensurar a porcentagem de colmos e, conseqüentemente, a produtividade agrícola de colmos (t ha^{-1}), ou seja, a quantidade de colmos existentes em cada linha colhida ou unidade de área (ha).



Figura 4. Balança para pesagem do transbordo.

3.6 Determinação da capacidade efetiva de matéria-prima colhida

Segundo Ripoli; Ripoli (2009), a capacidade efetiva ocorre quando se considera diretamente a quantidade de material liberado no veículo de transporte, sem levar em conta as perdas no campo e a matéria estranha contida na carga recolhida, e pode ser calculada através da Equação 2:

$$CE = \frac{W}{T} . 3,6 \quad (2)$$

Em que:

W = massa de produto colhida, lançada no veículo de transporte, durante o ensaio(kg);

T = tempo gasto para percorrer a parcela experimental, durante o qual recolheu-se a massa W (s);

3,6 = fator de conversão.

3.7 Determinação das perdas visíveis de matéria prima

As perdas representam a massa de material vegetal (colmo) que fica no campo após a passagem da colhedora, cujo conteúdo em açúcar a qualifica como “*matéria prima industrializável*”.

Foi utilizada a metodologia proposta pelo Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (BENEDINI et al., 2009), em que as perdas são medidas de maneira direta, demarcando-se uma área logo após a colheita e realizando a catação manual de todas as frações que não foram colhidas (frações de rebolos que foram estilhaçados, canas inteiras ou em pedaços amassados/estraçalhados, pedaços de cana-de-açúcar agarrados aos ponteiros, rebolos inteiros lançados fora do veículo transbordo e tocos altos deixados por deficiência no corte basal).

A área da parcela amostrada possuía aproximadamente 10 m², abrangendo duas linhas de cana-de-açúcar, com 3,0 m na largura e 3,3 m no comprimento da fileira (Figura 5).

Para análise estatística foram realizadas 3 sub-amostras de perdas de matéria-prima para cada tratamento, constituindo-se estes dados as repetições.

Após a separação do material encontrado, feita a pesagem de cada material recolhido utilizando uma balança portátil com capacidade de leitura até 25 kg e precisão de 10 gramas. As perdas foram calculadas de forma absoluta (t ha⁻¹), multiplicando-se o valor final em peso por 1.000. Para o valor em porcentagem, dividiu-se este valor pela produtividade mais o valor das perdas, conforme a Equação 3.

$$Pc(\%) = \frac{PC}{P + PC} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que:

Pc = Porcentagem de perdas no campo (%)

PC = Perdas no campo (t ha⁻¹)

P = Produtividade do canavial (t ha⁻¹)

100 = Fator de conversão



Figura 5. Demarcação da área para separação e pesagem das perdas.

Após a obtenção dos índices de perdas (Figura 6), os resultados foram classificados em níveis de perda alta, média ou baixa, de acordo com os valores médios apresentados na Tabela 3:

Tabela 3. Classificação das perdas de matéria-prima (%).

Nível de perdas	Percentual de perdas (%)
Baixo	< 2,5
Médio	2,5 a 4,5
Alto	> 4,5

(Fonte: BENEDINI et al., 2009).



Figura 6. Perdas visíveis de matéria prima industrializável encontrada no campo.

3.8 Eficácia de manipulação

Segundo Ripoli; Ripoli (2009), a eficácia de manipulação de colhedoras de cana-de-açúcar representa a relação entre a quantidade de rebolos de colmos colocados na unidade de transporte e a quantidade (TC) de colmos existentes na fileira de plantio, *in natura*, sendo função, também, das perdas (P_c) durante a colheita, de maneira que:

$$EM(\%) = \left(1 - \frac{P_c}{TC}\right) \cdot 100$$

(4)

Em que:

EM = Eficácia de manipulação (%)

P_c = Perdas no campo ($t\ h^{-1}$)

TC = Produtividade do canavial

3.9 Avaliações de qualidade da matéria-prima colhida

3.9.1 Amostragem da matéria-prima colhida

Para a amostragem e avaliação da qualidade de matéria-prima foram utilizados dois tambores metálicos cobertos com sacos plásticos para coleta do

material colhido, ao final de cada repetição, que serviu de sub-amostras para análise tecnológica (Figura 7). Para a análise da qualidade da matéria-prima colhida foram realizadas 4 repetições para cada tratamento.



Figura 7. Coleta das amostras do elevador da colhedora (esquerda) para análise de qualidade da matéria-prima colhida e tambores com saco plástico e material recolhido (direita).

A partir desse material, foram efetuadas as determinações de porcentagem de rebolos, de matéria estranha mineral e matéria estranha vegetal que foi separada em: ponteiros, folhas e palhas, raízes e total, conforme Figura 8.

Para pesagem das amostras de material colhido para cada tratamento, foi utilizada uma balança de precisão com capacidade de leitura máxima de 2200 gramas e resolução de 0,01 gramas.



Figura 8. Amostra para determinação da qualidade da matéria-prima colhida.

3.9.2 Classificação das impurezas encontradas na matéria-prima

A matéria estranha mineral é considerada uma composição de terra e pedregulhos cujo sistema de limpeza das colhedoras não é capaz de separar do material colhido, sendo levada para a usina onde pode causar danos por desgaste dos componentes da indústria, bem como alterar a qualidade do açúcar. Para obter a quantidade de impureza mineral presente na matéria-prima, as amostras de material colhido (palha, ponteiros e rebolos), para cada tratamento, foram limpas através de escovação e peneiradas em local protegido e posteriormente foi ensacado todo o material para realização da pesagem (Figura 9).



Figura 9. Limpeza e separação do material para análise das impurezas minerais.

Segundo Benedini et al. (2009), os valores aceitáveis de impurezas minerais estão entre 3 a 6 kg por tonelada de cana-de-açúcar (0,3 a 0,6%), como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação de impurezas minerais.

Classificação das Impurezas minerais	Percentual de Impurezas minerais (%)
Baixo	< 0,3%
Médio	0,4% a 0,6%
Alto	> 0,6%

Fonte: BENEDINI et al., 2009

As impurezas vegetais são consideradas todo material proveniente das plantas, que não sejam colmos industrializáveis, que é levado na unidade de transporte

junto com os rebolos colhidos, sendo composta, principalmente, por palha, folhas verdes, ponteiros e raízes da cana-de-açúcar. A classificação das impurezas vegetais está mostrada na Tabela 5.

Tabela 5. Classificação de impurezas vegetais.

Classificação das Impurezas vegetais	Percentual de Impurezas vegetais (%)
Baixo	< 3%
Médio	4% a 6%
Alto	> 7%

Fonte: BENEDINI et al., 2009

A Figura 10 apresenta amostras de impurezas minerais e vegetais obtidas em um dos tratamentos do trabalho.



Figura 10. Impurezas mineral (esquerda) e vegetal (centro e direita) encontradas na matéria-prima.

3.9.3 Frequência de comprimento e índice de fissura dos rebolos

A partir das subamostras coletadas, foram analisados, aleatoriamente, 50 rebolos, nos quais foram medidos seus comprimentos, para obtenção da frequência de comprimento, bem como se procedeu a análise da qualidade do corte realizado pelos facões picadores dos mesmos, sendo classificados como perfeitos quando não houvesse fissuras em ambas as extremidades, perfeito quando somente um dos lados

apresentasse fissuras e imperfeito quando em ambas extremidades fossem observadas as fissuras, conforme a Figura 11.



Figura 11. Determinação da frequência de comprimento e índice de fissura.

3.10 Determinação da altura de toco e abalo de soqueiras

Para análise da qualidade da colheita com relação ao corte basal, foram avaliados os tocos remanescentes na linha colhida, imediatamente após a passagem da colhedora. A área de amostragem foi demarcada com 10 metros de comprimento, sendo realizadas 3 repetições para cada tratamento, realizando a pontuação de cada soqueira, conforme a metodologia proposta pelo CTC (Centro de Tecnologia Canavieira). Foram atribuídas notas para as soqueiras avaliadas, sendo classificadas de acordo com a qualidade do corte conforme mostrado na Figura 12.

Para quantificação do abalo da soqueira foram atribuídos os seguintes valores, em função da situação encontrada em cada soqueira:

- 1 – Fragmentado
- 2 – Rachaduras
- 3 – Danos Periféricos
- 4 – Soqueiras sem Danos

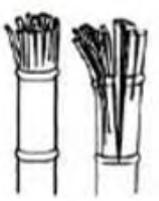
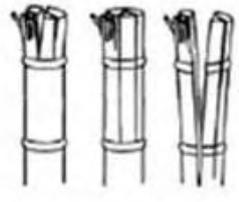
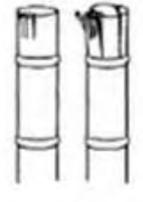
Classificação de danos	Limite inferior	Nota
Fragmentado		1
Rachaduras		2
Danos periféricos		3
Sem danos		4

Figura 12. Tabela para a classificação dos danos às soqueiras. Adaptado de KROES (1997), citado por MELLO; HARRIS (2003).

3.11 Determinação do consumo de combustível

Para avaliação do consumo de combustível da colhedora, foram utilizados dois medidores de combustível tipo fluxômetro da marca Oval, modelo LSF45 com capacidade máxima de leitura 500 L h^{-1} (Figura 13), instalados no sistema de alimentação de combustível entre o tanque e o motor e outro instalado no retorno para o tanque. Para aquisição dos dados foi utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP) que registra uma unidade de pulso a cada 10 mL de combustível que passou pelos fluxômetros, permitindo calcular através da diferença de combustível que entra no motor e o que retorna ao tanque, o consumo horário de combustível, com a visualização instantânea dos dados, segundo a metodologia utilizada por Monteiro (2008) e adotada pelo Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da Faculdade de Ciências

Agronômicas (FCA-UNESP) campus de Botucatu-SP. Em cada repetição o CLP foi acionado no início da colheita e parado ao final, obtendo o resultado de consumo de combustível de cada linha colhida.



Figura 13. Fluxômetros instalados na entrada e no retorno do tanque da colhedora para determinação do consumo de combustível.



Figura 14. Controlador lógico programável (CLP) para leitura instantânea dos dados.

3.11.1 Consumo horário de combustível (L h⁻¹)

O consumo horário de combustível foi obtido através da coleta dos dados fornecidos pelo CLP após percorrer cada parcela. Sendo calculado pela Equação 5:

$$CCh = \frac{\sum (pe - ps) \cdot 3,6}{\Delta t} \quad (5)$$

Em que:

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

$\sum (pe - ps)$ = diferença entre os somatórios de pulsos dos fluxômetros, equivalente a ml de combustível gasto, de entrada e de retorno do motor;

Δt = tempo gasto (s);

3,6 = fator de conversão.

3.11.2 Consumo de combustível por área (L ha⁻¹)

O consumo de combustível por área foi obtido através do cálculo realizado conforme a Equação 6:

$$CCa = Td \cdot CCh \quad (6)$$

onde:

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

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

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

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

O consumo de combustível por tonelada foi obtido através do cálculo realizado conforme a Equação 7:

$$Ct = \frac{CCa}{P} \quad (7)$$

Em que:

Ct = consumo de combustível por toneladas de cana colhida (L t⁻¹)

CCa = consumo de combustível por área ($L ha^{-1}$)

P = produtividade do canavial ($t ha^{-1}$)

3.12 Análise estatística

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo seis tratamentos, duas velocidades de deslocamento ($4,0$ e $5,5 km h^{-1}$) e três rotações do motor (1800 , 1950 , $2100 rpm$) e seis repetições. A análise estatística foi efetuada pelo sistema SISVAR. Os dados das avaliações de qualidade da colheita foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade e os dados de consumo de combustível foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 1% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade agrícola no talhão colhido

A produtividade média mensurada no talhão em que foi realizado o experimento foi de $94,23 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 15).

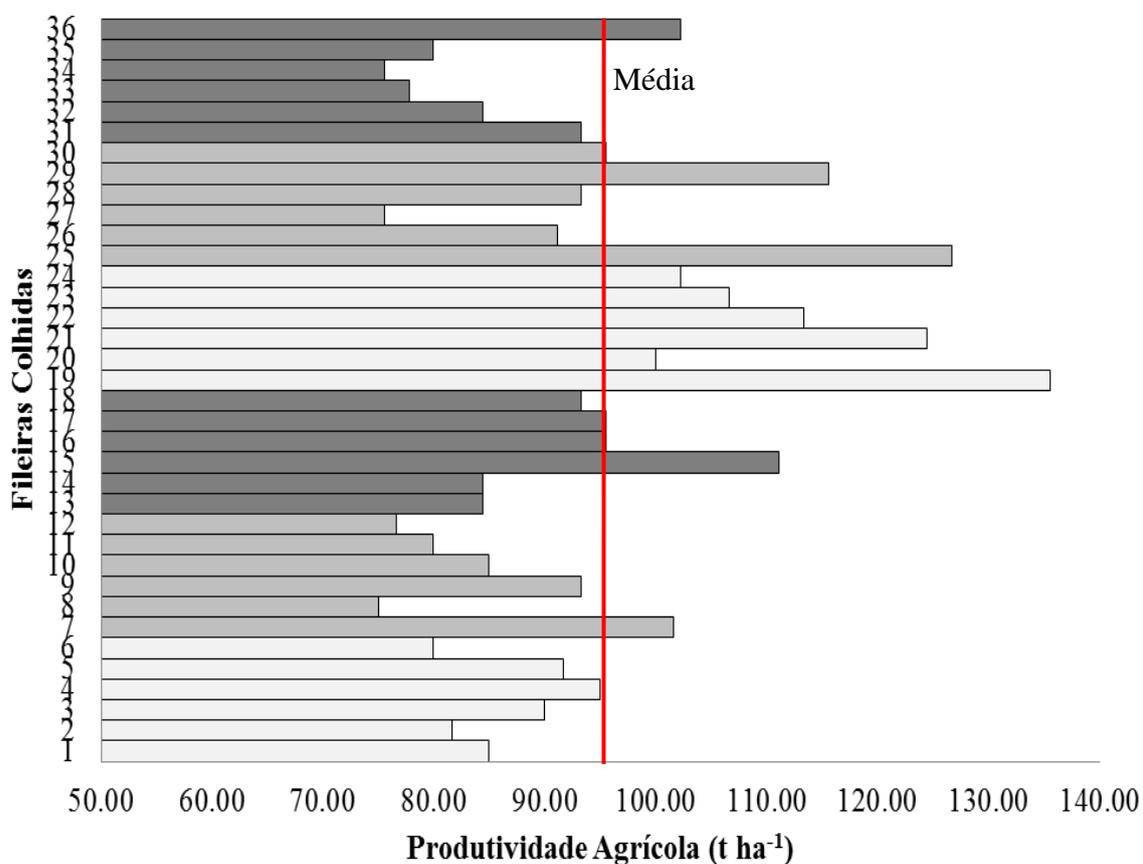


Figura 15. Variabilidade espacial da produtividade agrícola (t ha^{-1}) nas fileiras colhidas.

A variação da produtividade de cada fileira colhida observada na Figura 15, segundo Ripoli; Ripoli (2009), está relacionada com diversos fatores que influenciam a quantidade, peso unitário, comprimento e arquitetura dos colmos industrializáveis, como falhas de brotação, ataque de pragas e doenças, presença de plantas daninhas e até aplicações irregulares de fertilizantes e agrotóxicos.

4.2 Produtividade agrícola de colmos no talhão

Na Figura 16 é apresentada a produtividade agrícola de colmos no talhão, que representa o total de colmos de cana-de-açúcar na forma de rebolos, descontando-se os valores das impurezas, que foram colhidos na área do experimento para cada tratamento. A variação observada nas médias dos tratamentos está relacionada à produtividade das fileiras colhidas, referentes às repetições. Observou-se que os tratamentos V1M1, V2M1 e V1M2 não diferiram entre si com relação à produtividade de colmos existentes nas linhas colhidas referentes a estes tratamentos, o mesmo ocorreu entre os tratamentos V2M2 e V1M3, entretanto, o tratamento V2M3 apresentou maior produtividade, diferenciando-se estatisticamente dos demais a 5% de probabilidade.

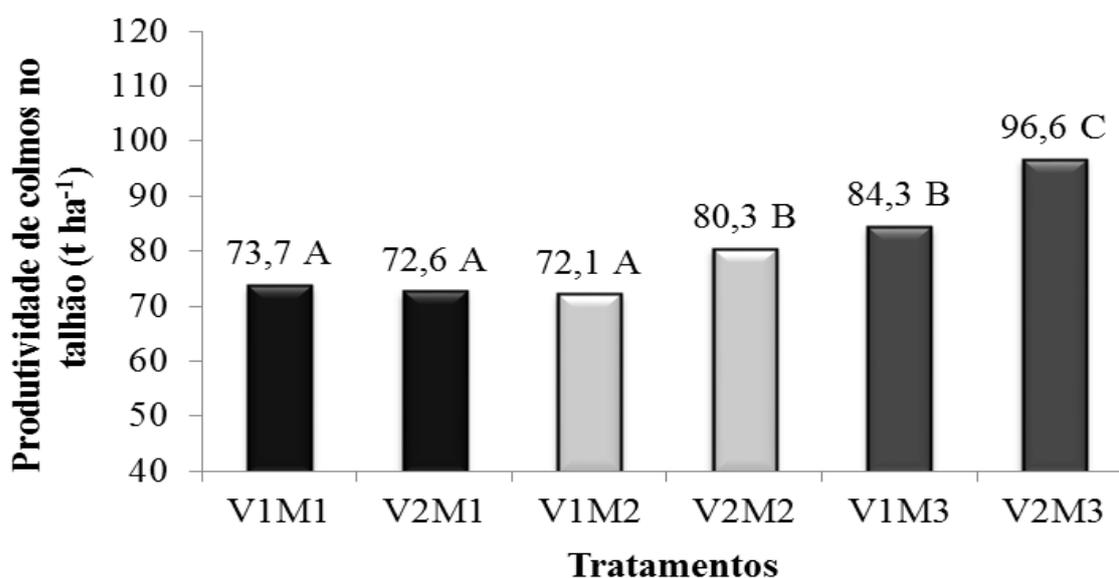


Figura 16. Média da produtividade agrícola (t ha⁻¹) de colmos no talhão para todos os tratamentos.

4.3 Produtividade agrícola de colmos colhidos

A produtividade agrícola de colmos colhidos representa o total de colmos colhidos no talhão na forma de rebolos, descontados as impurezas e as perdas de matéria-prima, sendo o diferencial entre a produtividade com relação ao item anterior (Figura 17).

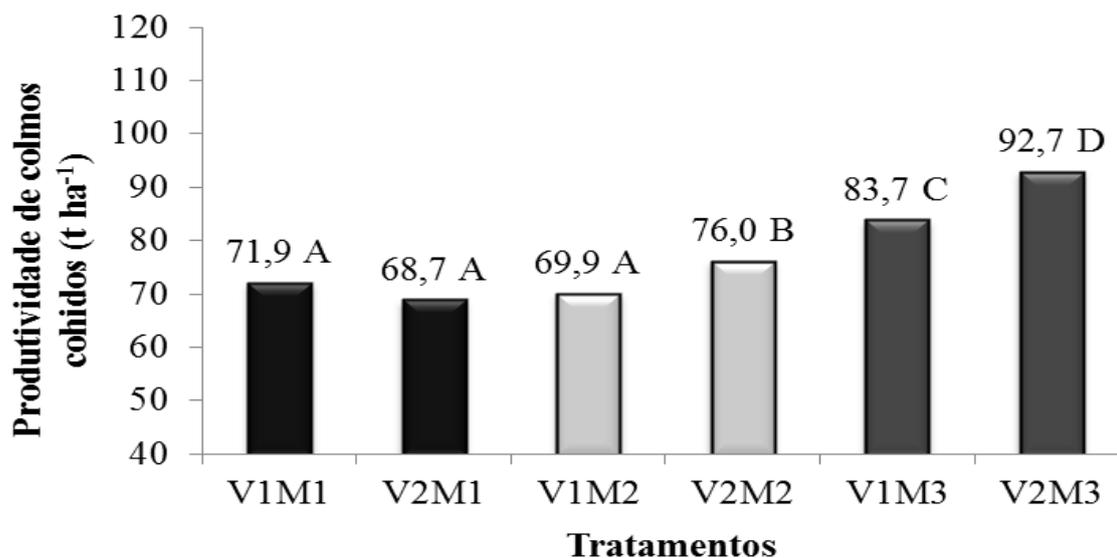


Figura 17. Média da produtividade agrícola (t ha⁻¹) de colmos colhidos para todos os tratamentos.

4.4 Capacidade efetiva de matéria-prima colhida (t h⁻¹)

As médias de capacidade efetiva dos tratamentos (Figura 18) considerando-se a velocidade de deslocamento 4,0 km h⁻¹ não diferiram estatisticamente entre si, a 5% de significância. Dentre os tratamentos com a velocidade 5,5 km h⁻¹, apenas o tratamento V2M3 diferiu dos demais, apresentando o maior valor de capacidade efetiva (95,53 t h⁻¹). As principais diferenças de capacidade efetiva entre os tratamentos de mesma velocidade foram relativas à produtividade obtida nas repetições.

Os resultados encontrados em todos os tratamentos estão de acordo com os encontrados por Furlani Neto (2005); Mazzonetto (2004); Molina Jr. et al. (2001); De León (2000); Nery (2000); Cenicaña (1997); Furlani Neto et al. (1996) e Romero et al. (1993), em que foram obtidos valores de capacidade efetiva entre 57 e 93 t h⁻¹.

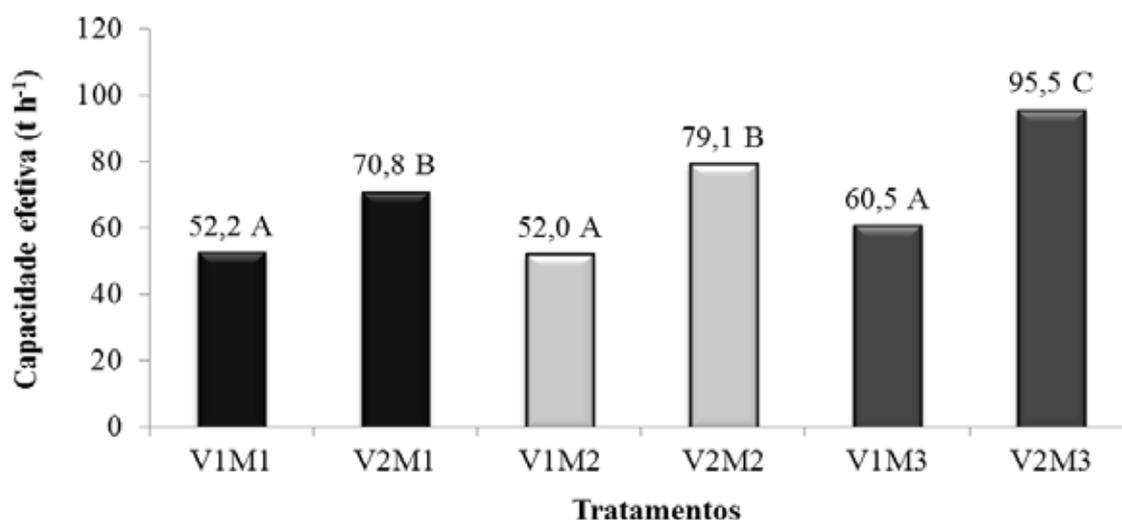


Figura 18. Médias de capacidade efetiva de matéria-prima dos tratamentos (t h⁻¹)

A Figura 19 apresenta as médias de capacidade efetiva de cada uma das velocidades avaliadas, sendo considerada a média das três rotações. A velocidade 5,5 km h⁻¹ apresentou maiores valores de capacidade efetiva, diferenciando-se significativamente, a 5% de probabilidade, da velocidade 4,0 km h⁻¹. Estes resultados concordam com Molina Júnior et al. (2001), que ao avaliar comparativamente o desempenho operacional de três colhedoras de cana-de-açúcar sem queima em quatro diferentes velocidades de trabalho (1,57; 3,08; 5,34 e 7,66 km h⁻¹), concluíram que em velocidades de deslocamento maiores, todas as colhedoras apresentaram capacidade efetivas maiores.

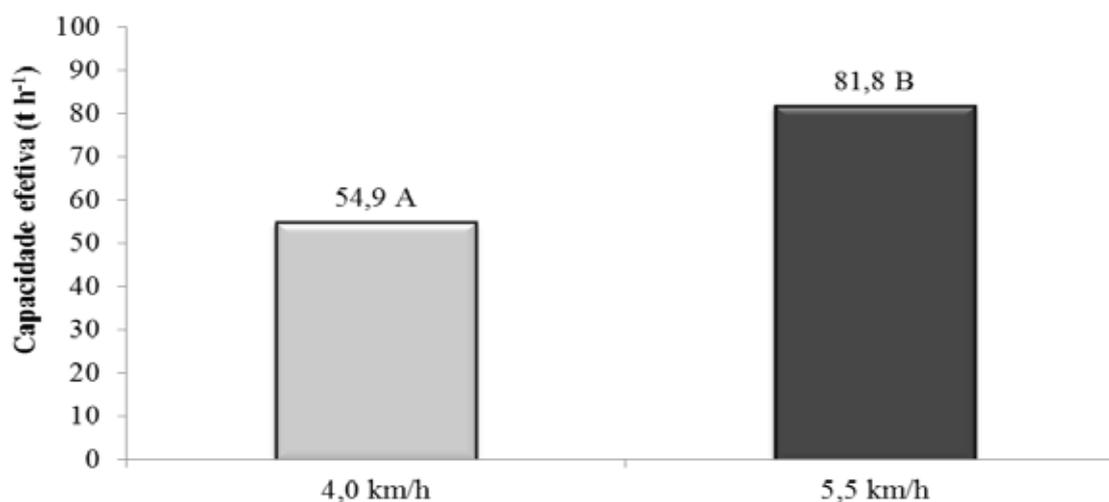


Figura 19. Média de capacidade efetiva de matéria-prima (t h⁻¹) em cada nível de velocidade.

4.5 Perdas visíveis de matéria-prima

Na Figura 20 são apresentados os valores médios para perdas visíveis, onde se verificou que a porcentagem de perdas entre os tratamentos foi distinta e segundo o CTC, Benedini et al. (2009), seria classificada em baixa para os tratamentos com a menor velocidade de deslocamento, pois foi inferior a 2,5% e média para a os tratamentos com a maior velocidade de deslocamento, pois foi compreendida no intervalo entre 2,5 a 4,5%.

Os resultados das médias obtidas nesse trabalho são menores que os valores encontrados por Nery (2000) de 6,1 e 9,98% e Romero et al. (1993) de 10 e 13% e semelhantes aos encontrados por Santos (2011), de 3 a 5%, Belardo (2010) entre 1,5 e 3,2%, Cenicaña (1997) de 3,65%, Mialhe e Carraro Neto (1993) entre 3,22 e 4,14%, Furlani Neto (1995) com 4,53%, De León (2000) entre 3,93 e 7,43% e Mazzonetto (2004) entre 3,5 a 4,5% e foram maiores que os valores obtidos por Schmidt Junior (2011) de 0,29 a 0,82%.

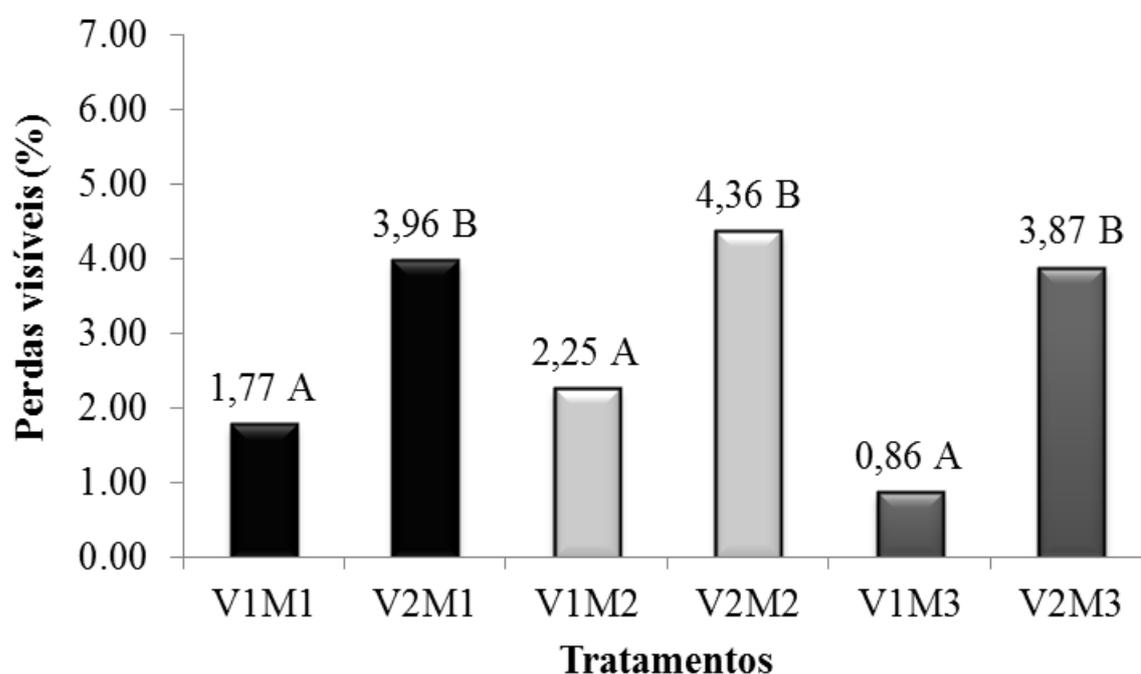


Figura 20. Porcentagem de perdas visíveis de matéria-prima dos tratamentos.

A comparação da Figura 21 confirma que há mais perdas na colheita mecanizada quando a colhedora desloca-se com maior velocidade, pois o resultado

entre as médias foi significativo a 5% de probabilidade. Observou-se ainda que as perdas foram de 1,57 t ha⁻¹ para a menor velocidade e de 4,01 t ha⁻¹ para a maior velocidade de deslocamento e, segundo Benedini e Silva (2010) valores próximos de 3 a 4 toneladas por hectare são consideráveis aceitáveis.

Santos (2011) ao identificar os fatores críticos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, concluiu que, com o aumento da velocidade, as perdas aumentaram linearmente, mas o custo decresceu, devido à maior capacidade operacional obtida. O mesmo autor ao constatar a falta de trabalhos de perdas em função da velocidade de operação de colhedoras, atribuiu tal fato à dificuldade de se obter as equações de perdas devido à variabilidade da produtividade de cana-de-açúcar existente dentro do talhão.

Os resultados deste trabalho concordam com Neves et al. (2004) o qual constatou que ocorreram maiores perdas para maior velocidade e foram semelhantes aos observados por Segato e Daher (2011) em que as perdas foram de 2,85 t ha⁻¹ para a menor velocidade e de 4,13 t ha⁻¹ para a maior velocidade de deslocamento.

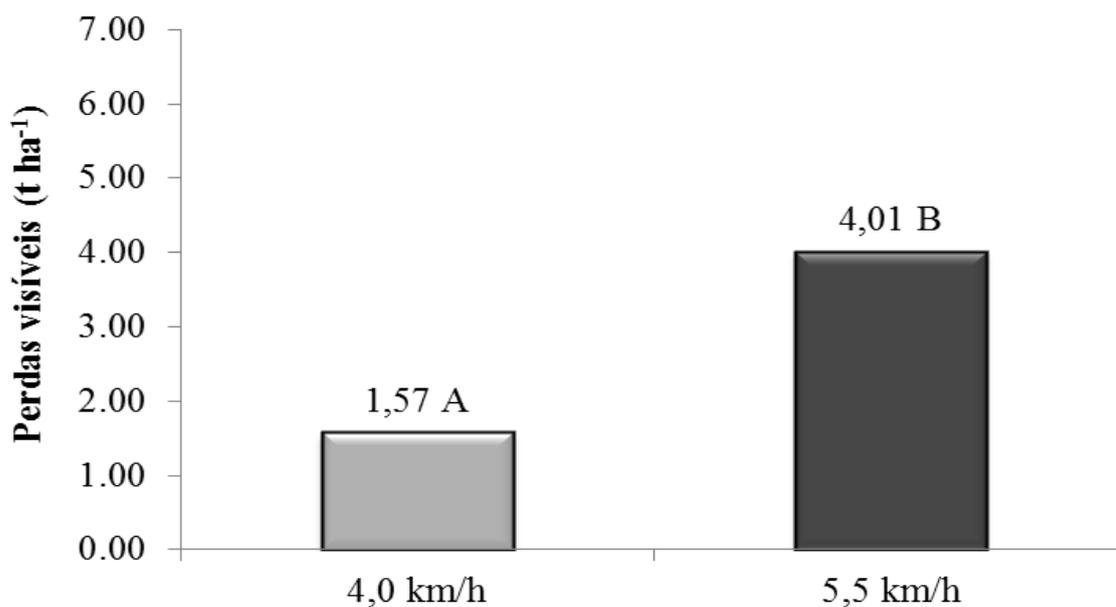


Figura 21. Média das perdas visíveis de matéria-prima nas velocidades 4,0 e 5,5 km h⁻¹.

Os resultados deste trabalho discordaram dos verificados por Ripoli et al. (2001) que ao realizar ensaios de campo com 2 colhedoras, observou que as perdas de cana-de-açúcar não aumentaram com as colhedoras trabalhando em velocidades maiores e Neves et al. (2006) que afirmaram que o baixo desempenho das colhedoras, expresso pelos

altos índices de perdas de matéria prima, não está associado à velocidade de deslocamento da colhedora.

4.6 Eficácia de manipulação

A eficácia de manipulação representa a quantidade de colmos colhidos em função da quantidade de colmos existentes no talhão e das perdas de matéria-prima. A Figura 22 ilustra que os resultados encontrados para os tratamentos foram diferentes estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, quando houve mudança da velocidade de deslocamento, sendo melhores os resultados deste parâmetro para a menor velocidade.

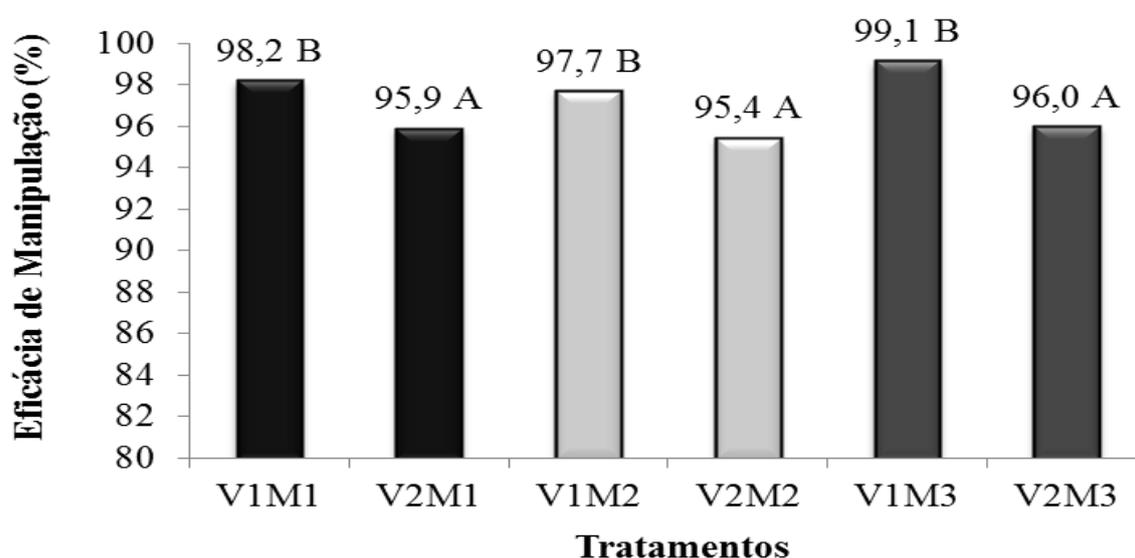


Figura 22. Média das eficácias de manipulação (%) dos tratamentos.

Os resultados neste trabalho foram semelhantes aos resultados encontrados pelos autores Schmidt Junior (2011), Belardo (2010), Mazzonetto (2004), De León (2000), Cenicaña (1997) e Mialhe e Carraro Neto (1993).

A Figura 23 apresenta as médias para eficácia de manipulação de cada uma das velocidades avaliadas, sendo considerada uma média das três rotações. A velocidade $4,0 \text{ km h}^{-1}$ apresentou melhores valores para eficácia de manipulação, diferenciando-se significativamente, a 5% de probabilidade, da velocidade $5,5 \text{ km h}^{-1}$.

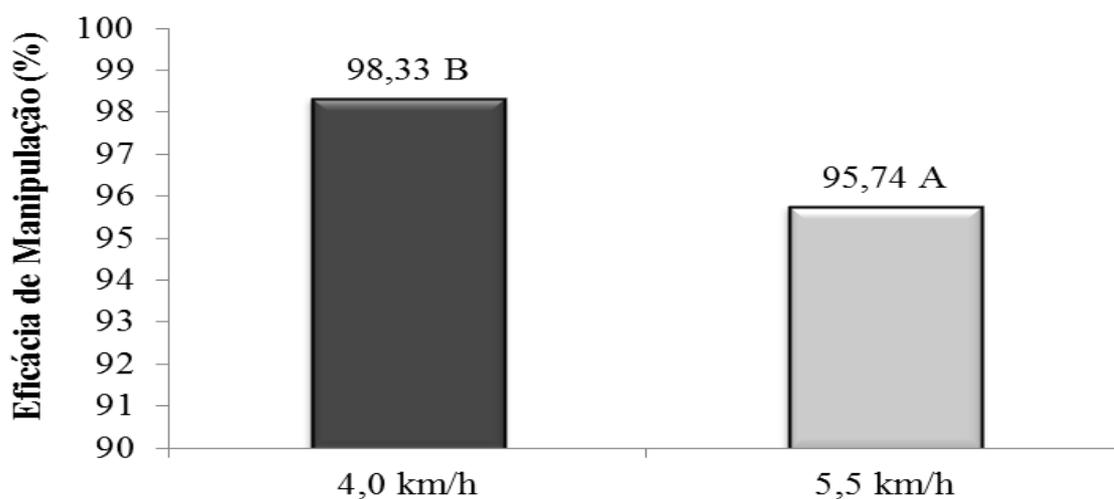


Figura 23. Média das eficácias de manipulação (%) das três rotações do motor avaliadas em cada nível de velocidade.

4.7 Qualidade da colheita

4.7.1 Rebolos presentes na matéria-prima colhida

Assim como a presença de impurezas vegetais e minerais, a qualidade da matéria-prima colhida está relacionada também com a quantidade de rebolos colhidos, ou seja, o quanto de matéria-prima presente na carga total colhida são rebolos de cana-de-açúcar, podendo ser mensurado em toneladas por hectare ou percentual.

A média da porcentagem de rebolos presentes na matéria-prima colhida de todos os tratamentos está apresentada na Figura 24. Os resultados não apresentaram diferenças estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. Estes resultados demonstram que não houve alteração na capacidade de processamento da matéria-prima pela colhedora ao ser variada a rotação do motor ou a velocidade de deslocamento. Os resultados obtidos neste trabalho foram semelhantes aos encontrados por Schmidt Junior (2011).

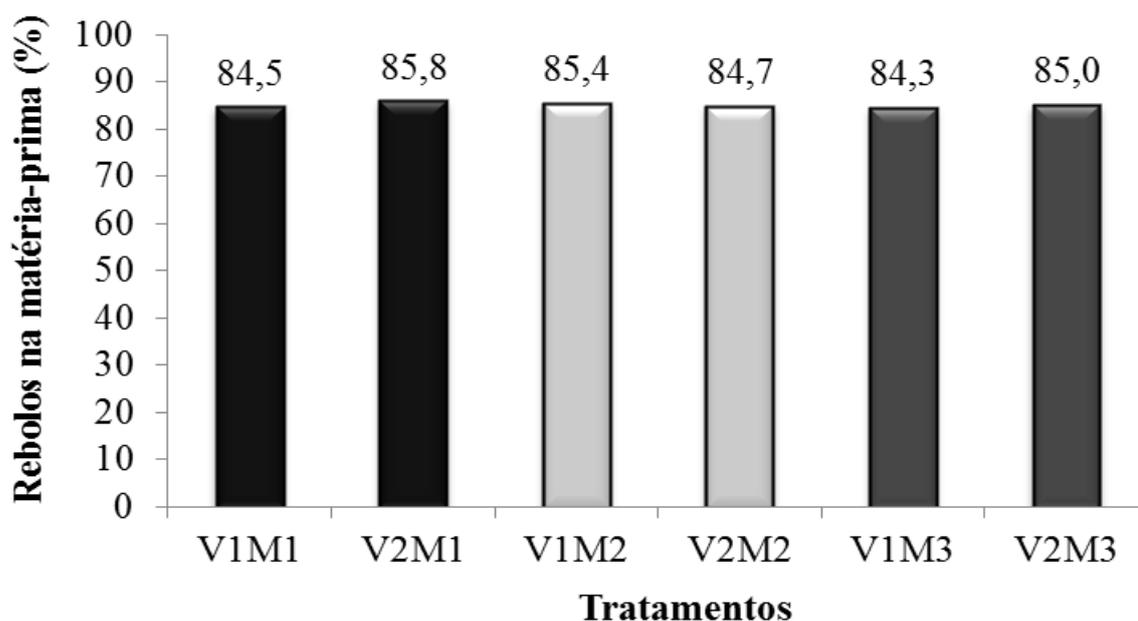


Figura 24. Média da porcentagem de rebolos presentes na matéria-prima em todos os tratamentos.

4.7.2 Impurezas vegetais na matéria-prima

As médias de impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida dos tratamentos estão apresentadas nas Figuras 25 e 26. Como observado anteriormente, a capacidade de processamento de matéria-prima pela colhedora não foi alterada com a mudança de velocidade e rotação do motor, portanto, sem haver alterações também na utilização dos principais componentes que influenciam na quantidade de material vegetal levado junto com a carga, ou seja, cortadores de pontas, rotação dos facões picadores ou extratores, primário e secundário, era esperado que não houvesse alterações na quantidade de impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida.

Seguindo a classificação CTC, os resultados encontrados apresentaram níveis altos em todos os tratamentos e os resultados da análise estatística não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados ao nível de 5% de probabilidade. Os valores encontrados neste trabalho, de 13,8 a 14,9% de impurezas vegetais foram semelhantes aos resultados obtidos por Schmidt Junior (2011) que obteve entre 10 e 15% de impurezas vegetais.

Esses valores elevados de impurezas vegetais são justificados pela falta de utilização dos cortadores de pontas, em decorrência do canavial encontrar-se

deitado, fato que proporcionou o alto índice de ponteiros presentes na matéria-prima colhida. Contudo, em canaviais que possuem o porte mais ereto, a utilização dos cortadores de pontas evita que esse material seja levado junto à carga no veículo transbordo e consequentemente os valores de impurezas vegetais sejam mais baixos.

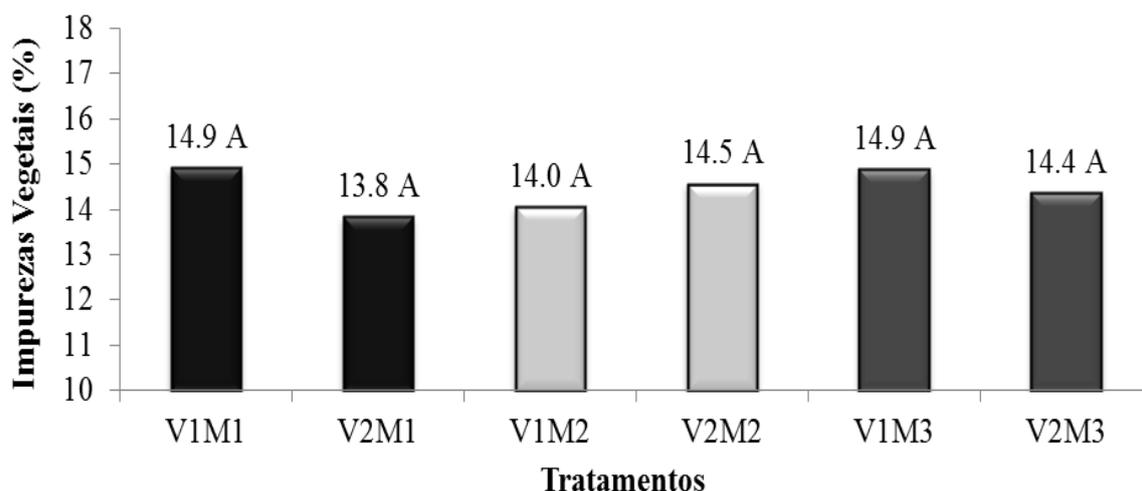


Figura 25. Impurezas vegetais (%) presentes na matéria-prima em todos os tratamentos.

Na Figura 26 são apresentados os valores de impurezas vegetais referentes apenas aos valores encontrados de porcentagem de raízes, folhas e palhas, sendo descontados os valores encontrados de porcentagem de ponteiros presentes na matéria-prima colhida, como simulação de uma situação em que seja utilizado o sistema de corte de pontas.

Seguindo a classificação CTC, os resultados encontrados apresentaram níveis médios em todos os tratamentos, exceto o tratamento V2M3 que apresentou nível alto de impurezas vegetais. Contudo, os resultados da análise estatística não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados ao nível de 5% de probabilidade.

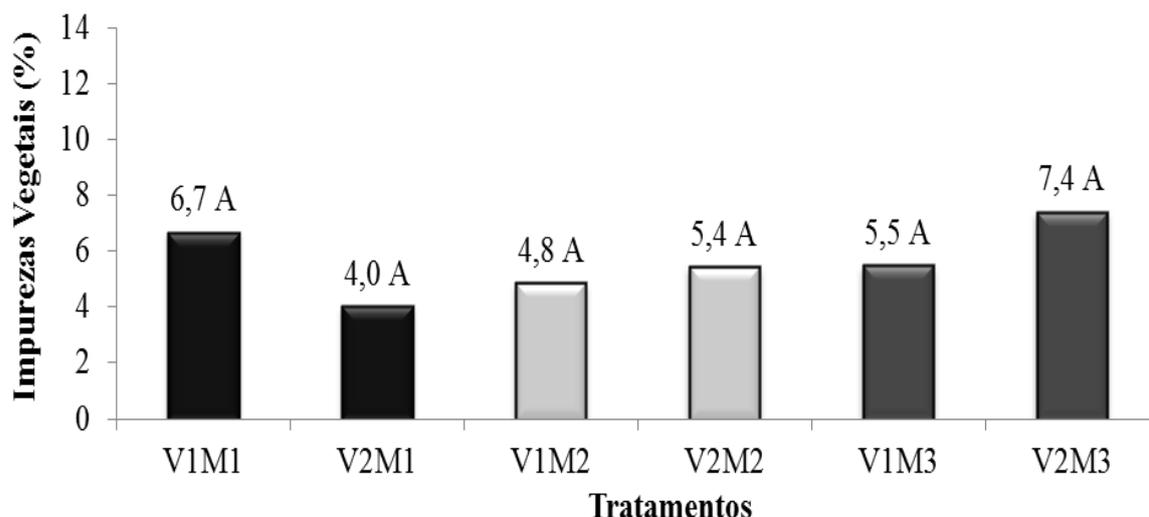


Figura 26. Simulação das impurezas vegetais (%) presentes na matéria-prima em todos os tratamentos.

Esses valores são inferiores aos resultados de impurezas vegetais encontrados por Furlani Neto (1995) de 8,1% e Cenicãña (1997) de 8,3%; porém, foram semelhantes aos encontrados por Belardo (2010) entre 5 a 7,39%, De León (2000) entre 5,16 e 7,84% e Molina Júnior et al. (2001) entre 6,17 e 7,58%, onde foram avaliadas velocidades semelhantes.

4.7.3 Impurezas minerais na matéria-prima colhida

As médias de todos os tratamentos encontradas para a variável impureza mineral estão apresentadas na Figura 27. A análise estatística dos resultados não apresentou diferença significativa entre os tratamentos avaliados ao nível de 5% de probabilidade, demonstrando não ter havido influencia da velocidade de deslocamento tampouco da rotação do motor da colhedora.

Conforme a classificação proposta pelo Centro de Tecnologia Canavieira, os resultados encontrados para os tratamentos V1M1, V2M1 e V1M2 apresentaram níveis médios, enquanto os tratamentos V2M2, V1M3 e V2M3 apresentaram níveis altos de impurezas minerais.

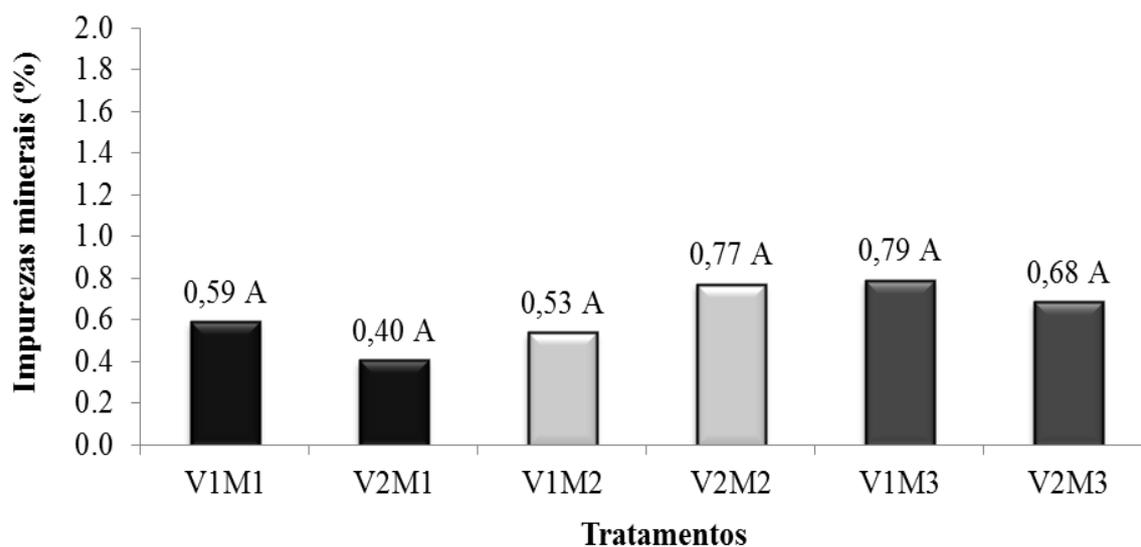


Figura 27. Impurezas minerais (%) presentes na matéria-prima colhida para cada tratamento.

Os valores encontrados nesse trabalho estiveram abaixo dos resultados encontrados por Giachini (2012), que ao avaliar a colheita mecanizada em diferentes turnos de trabalho, obteve médias de impurezas minerais de 0,94% no turno das 08h01 às 16h 00, 1,84% das 16h01 às 00h00 e 2,02% no turno da 00h01 às 08h00. Já Schmidt Junior (2011), obteve resultados menores, entre 0,29 e 0,41%, enquanto Belardo (2010), com valores entre 0,50 e 0,92 %, Nery (2000) com média de 0,66% e Furlani Neto (1995) de 0,7%, obtiveram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho.

4.7.4 Frequência de comprimento dos rebolos

As frequências de comprimento dos rebolos colhidos em todos os tratamentos estão apresentadas na Tabela 6. Foi observado que o comprimento dos rebolos diminuiu com o aumento da velocidade de deslocamento e principalmente com a rotação do motor da colhedora.

Avaliando os critérios de qualidade dos rebolos colhidos pelas colhedoras de cana picada, Fuelling (1982) observou que para rebolos perfeitos que se encontravam dentro do tamanho padrão considerado ótimo (25 cm a 35 cm), o índice de deterioração foi muito menor que nos rebolos danificados e pequenos (menores que 25 cm).

Em estudo realizado com colheita de cana crua, Mazzonetto (2004) obteve tamanho de rebolos entre 6 a 10 cm, sendo menores que os apresentados neste trabalho.

Neste trabalho, foi encontrado o tamanho médio dos rebolos variando entre 16 e 20 cm, com resultados acima de 84% dentro dessa margem para os tratamentos V1M1, V2M1, V1M2 e V2M2, e de 77 e 68% para os tratamentos V1M3 e V2M3, respectivamente. Contudo, foi observado que à medida que aumentou a rotação do motor da colhedora, a quantidade de rebolos cortados com comprimento fora da margem de 16 a 20 cm aumentou, sendo de 10, 13 e 21% para os tratamentos M1, M2 e M3, respectivamente.

Tabela 6: Frequência de distribuição do comprimento de rebolos (cm) para todos os tratamentos.

Intervalo de comprimento (cm)	V1M1	V2M1	V1M2	V2M2	V1M3	V2M3
	%					
10 - 12	0,9	0,0	0,0	0,0	3,5	2,6
13 - 15	5,3	6,1	7,9	7,0	7,0	21,1
16 - 17	33,3	36,0	38,6	45,6	24,6	50,0
18 - 20	56,1	53,5	45,6	43,9	52,6	18,4
21 - 23	4,4	4,4	7,0	3,5	7,9	4,4
24 - 26	0,0	0,0	0,9	0,0	4,4	3,5

Os resultados deste trabalho foram semelhantes aos encontrados por Peloia et al. (2010), que ao avaliar a capacidade do processo de corte de rebolos de cana-de-açúcar colhidos mecanicamente, obteve valores de comprimento de rebolos que variaram entre 11 e 25 cm em cana sem queima. O mesmo autor ao utilizar valores de 14 a 18 cm como valor mínimo e máximo de limite de tamanho dos rebolos, respectivamente, obteve em torno de 22% dos rebolos com tamanhos fora dessa margem.

Estes resultados, porém, foram diferentes dos encontrados por De León (2000), que obteve porcentagem maior que 50% para o comprimento médio de rebolos de 20 a 25 cm ao avaliar o comprimento médio de rebolos de duas colhedoras em quatro velocidades.

4.7.5 Índice de Fissura dos rebolos

A Figura 28 apresenta os valores percentuais determinados para a qualidade do cisalhamento dos rebolos dos tratamentos. Os resultados deste trabalho mostram a diminuição da qualidade do cisalhamento à medida que aumentou a velocidade de deslocamento e principalmente a rotação do motor da colhedora, diminuindo a presença de rebolos perfeitos e aumentando a presença de rebolos com uma ou com as duas extremidades danificadas (com fissuras). Observou-se que em um mesmo nível de rotação do motor, não houve diferença significativa entre as velocidades avaliadas para porcentagem de rebolos perfeitos; porém, em níveis diferentes de rotação do motor, a mesma velocidade de deslocamento apresentou diferença na qualidade do cisalhamento dos rebolos, mostrando que o aumento da rotação do motor da colhedora influenciou significativamente na diminuição da qualidade do cisalhamento dos rebolos colhidos.

Com exceção dos tratamentos com a rotação M3, os demais apresentaram maiores valores de porcentagem de colmos perfeitos do que os encontrados por De León (2000) de 72,5% e Mazzonetto (2004) com valores de 60%.

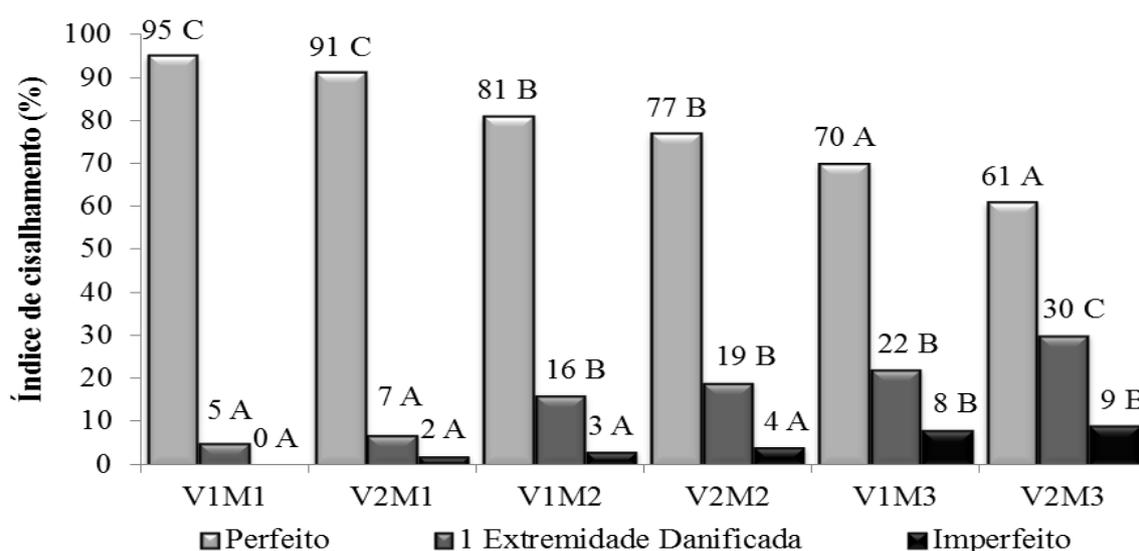


Figura 28. Qualidade do cisalhamento dos rebolos presentes na matéria-prima colhida.

Estes resultados não concordam com os resultados obtidos por Schmidt Junior (2011) e Belardo (2010) em que a qualidade de cisalhamento foi mantida mesmo com o aumento da velocidade de colheita.

4.8 Altura de toco e abalo de soqueiras

A Tabela 7 apresenta a variabilidade da altura de toco deixado após a passagem da colhedora em todos os tratamentos, assim como as respectivas notas atribuídas a cada ponto das soqueiras avaliadas.

Noronha (2011), avaliando o controle estatístico no processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar, observou diferença significativa quanto aos danos periféricos causados na soqueira entre os períodos, com 42,6% na colheita diurna e 35,8% noturna. Quanto aos danos fragmentados, obteve 36,4% na colheita diurna e 31,2% na noturna.

Para Reis (2009) os maiores graus de danos ocasionados às soqueiras ocorrem no intervalo de desgaste das facas de 4 a 6 h, havendo queda do grau de dano à medida que foram virados os lados das facas de corte basal.

Tabela 7: Porcentagem da altura de toco (cm) e classificação de danos às soqueiras avaliadas em todos os tratamentos.

Altura do Toco (cm) e Classificação de Dano	V1M1	V2M1	V1M2	V2M2	V1M3	V2M3
	%					
1 - 5	61,2	39,2	51,5	71,1	19,4	6,7
6 - 10	38,8	52,9	30,3	26,7	58,1	83,3
> 10	0,0	8,0	18,2	2,2	22,6	10,0
Sem Danos	53,1	25,5	15,2	44,4	32,3	23,3
Danos Periféricos	46,9	56,9	45,5	34,8	38,7	53,3
Rachaduras	0,0	17,6	21,2	13,3	16,1	20,0
Fragmentado	0,0	0,0	18,2	4,4	12,9	3,4

Os resultados deste trabalho mostraram que, à medida que aumentou a altura de corte nas soqueiras, houve maior incidência de danos às soqueiras, ou seja, a porcentagem de soqueiras sem danos diminuiu e os danos periféricos, de rachaduras e de fragmentação aumentaram.

Na bibliografia consultada foram encontrados poucos trabalhos sobre avaliações de abalo de soqueira em condições de campo. Com isso, fica como sugestão para trabalhos posteriores, o levantamento de dados que possam fornecer informações sobre a real influência dos danos visíveis que são encontrados nas soqueiras após a colheita mecanizada, no desenvolvimento e produtividade do canavial na safra subsequente.

4.9 Consumo de combustível

4.9.1 Consumo horário efetivo de combustível ($L h^{-1}$)

O consumo horário de combustível apresentado neste trabalho refere-se apenas ao consumo no momento da colheita, ou seja, enquanto a colhedora encontrava-se em plena operação de colheita de cana-de-açúcar. Este consumo horário efetivo não deve ser comparado com o consumo médio de combustível conhecido pelas Usinas, pois nestes casos, o consumo de combustível da colhedora geralmente refere-se a uma jornada inteira de trabalho, estando associado às outras operações além da colheita efetiva, como: manobras de cabeceira, deslocamentos dentro do talhão (desembuchamentos), mudanças de talhão e ocasiões em que a máquina está parada com o motor ligado, ou seja, situações em que a colhedora encontra-se consumindo combustível, porém, em regime mais econômico. Com isso, o tempo em que a colhedora passa em cada uma dessas situações citadas é determinante para que se obtenha um valor médio alto ou baixo de consumo de combustível.

Portanto, ao se comparar o consumo de combustível de colhedoras de cana-de-açúcar deve-se levar em conta sempre o consumo por tonelada colhida, quando a eficiência é o parâmetro desejado.

A Figura 29 apresenta os valores obtidos para consumo horário de combustível ($L h^{-1}$) para os tratamentos avaliados. O tratamento V2M3 foi o que apresentou maior consumo horário de combustível, diferenciando-se estatisticamente de todos os outros ao nível de 1% de probabilidade. Entre os tratamentos, o que apresentou

menor consumo de combustível foi o que utilizou a velocidade de deslocamento $4,0 \text{ km h}^{-1}$ (V1) associado à rotação do motor de 1800 rpm (M1).

Os resultados para consumo horário de combustível apresentados neste trabalho são semelhantes aos encontrados por Lyra (2012) que obteve $55,88 \text{ L h}^{-1}$, Giachini (2012) com $57,5 \text{ L h}^{-1}$, Schmidt Junior (2011) que obteve $50,3 \text{ L h}^{-1}$, Belardo (2010) onde no ensaio realizado a $5,0 \text{ km h}^{-1}$ a colhedora consumiu $63,04 \text{ L h}^{-1}$, Mazzonetto (2004) com $51,58 \text{ L h}^{-1}$ e Nery (2000) que a $5,3 \text{ km h}^{-1}$ obteve $60,04 \text{ L h}^{-1}$.

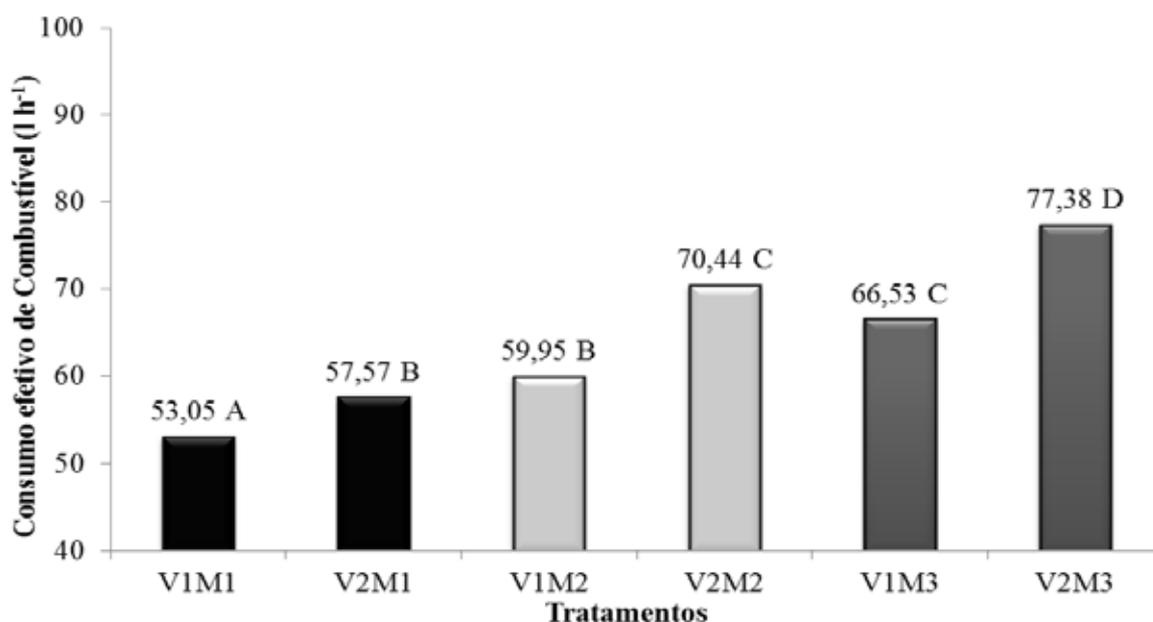


Figura 29. Média do consumo efetivo de combustível dos tratamentos (L h^{-1}).

A Figura 30 apresenta os resultados do consumo efetivo de combustível das velocidades $4,0$ e $5,5 \text{ km h}^{-1}$, em cada nível avaliado de rotação do motor. Os resultados mostram que tanto o aumento da rotação do motor, quanto o aumento da velocidade, são fatores que provocam o aumento do consumo de combustível da colhedora em litros por hora.

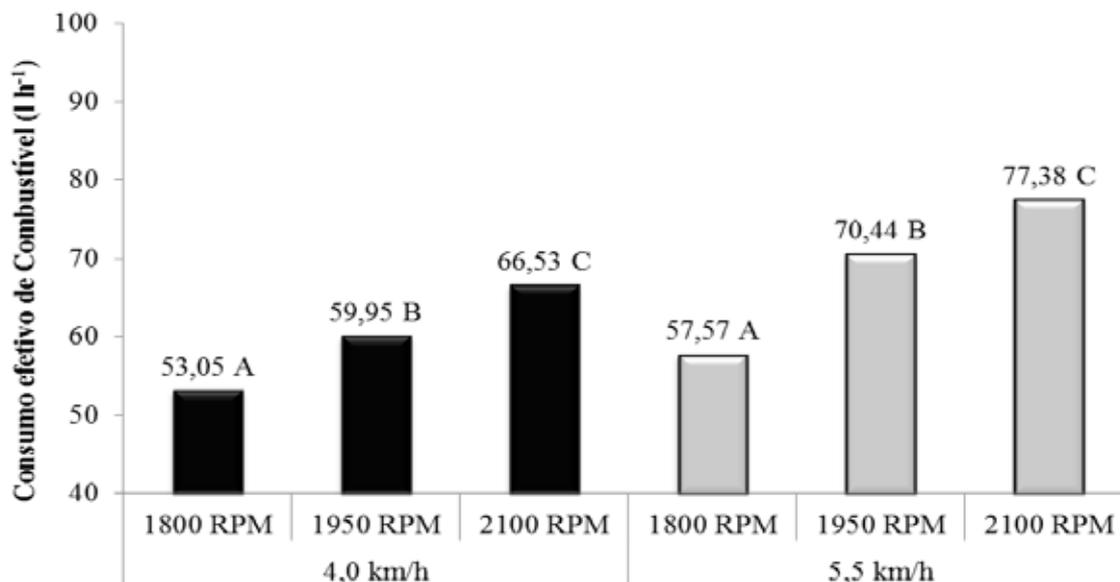


Figura 30. Média do consumo efetivo de combustível (L h⁻¹) das duas velocidades avaliadas, em cada nível de rotação.

A Figura 31 apresenta o consumo efetivo de combustível nas velocidades avaliadas, sendo estes valores referentes a uma média de todos os níveis de rotação avaliados. A maior velocidade de deslocamento da colhedora proporcionou maior consumo de combustível, diferenciando-se estatisticamente da menor velocidade ao nível de 1% de probabilidade.

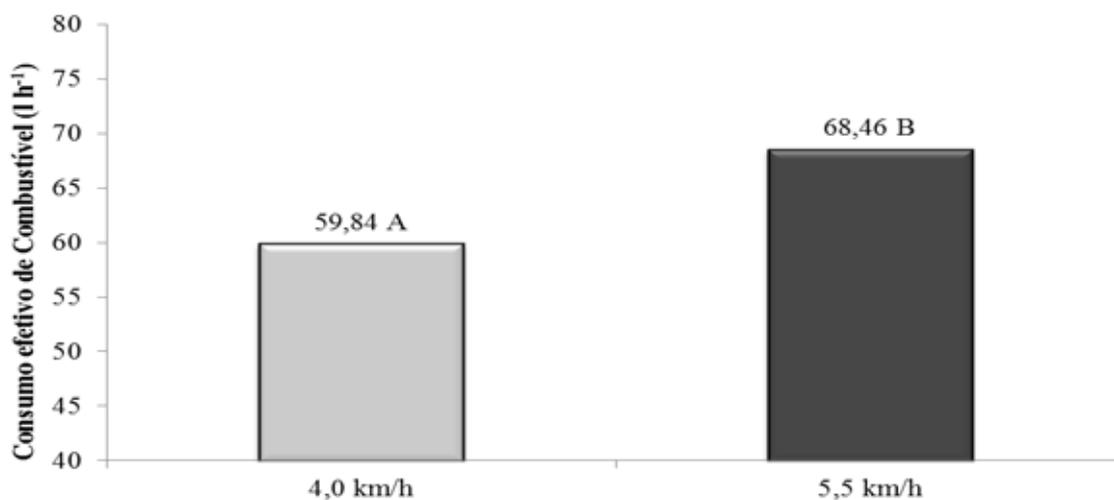


Figura 31. Média do consumo efetivo de combustível (L h⁻¹) das duas velocidades avaliadas.

Estes resultados concordam com Schmidt Junior (2011) que ao avaliar o desempenho efetivo de uma colhedora de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e rotação do extrator primário, observou que a velocidade de deslocamento apresenta relação com o consumo de combustível na colhedora avaliada, ou seja, quanto maior a velocidade de deslocamento, maior foi o consumo de combustível.

A Figura 32 apresenta o consumo efetivo de combustível das rotações avaliadas, sendo estes valores referentes a uma média das duas velocidades de deslocamento utilizadas. Observou-se o aumento do consumo de combustível à medida que houve aumento da rotação do motor, sendo os resultados para cada rotação diferentes estatisticamente entre eles ao nível de 1% de probabilidade.

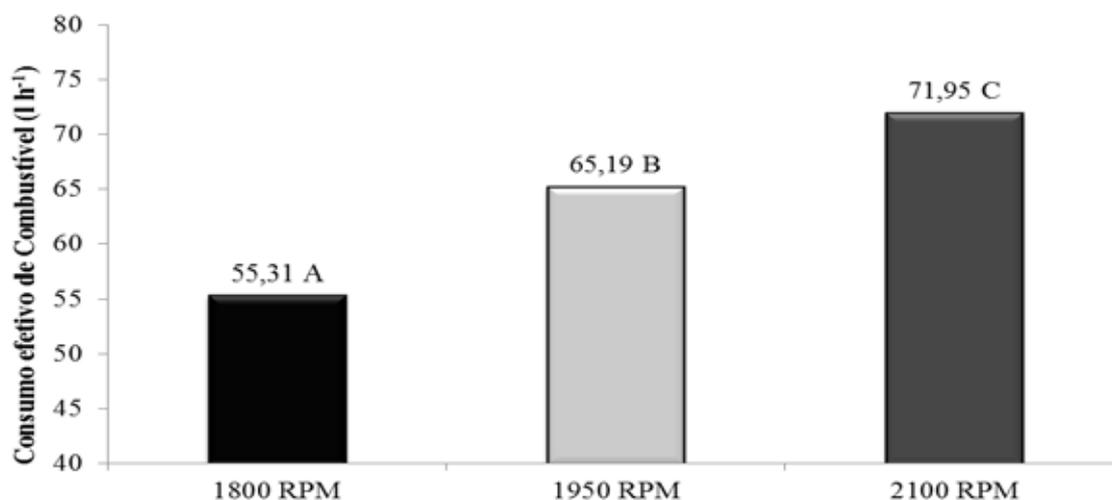


Figura 32. Média do consumo efetivo de combustível (L h⁻¹) dos três níveis avaliados de rotação do motor.

4.9.2 Consumo de combustível por área (L ha⁻¹)

A Figura 33 apresenta os valores de consumo de combustível por área (L ha⁻¹) para os tratamentos avaliados. O tratamento V1M3 apresentou maior consumo de combustível, diferenciando-se dos demais ao nível de 1% de probabilidade, sendo que o tratamento V2M1 apresentou menor consumo de combustível.

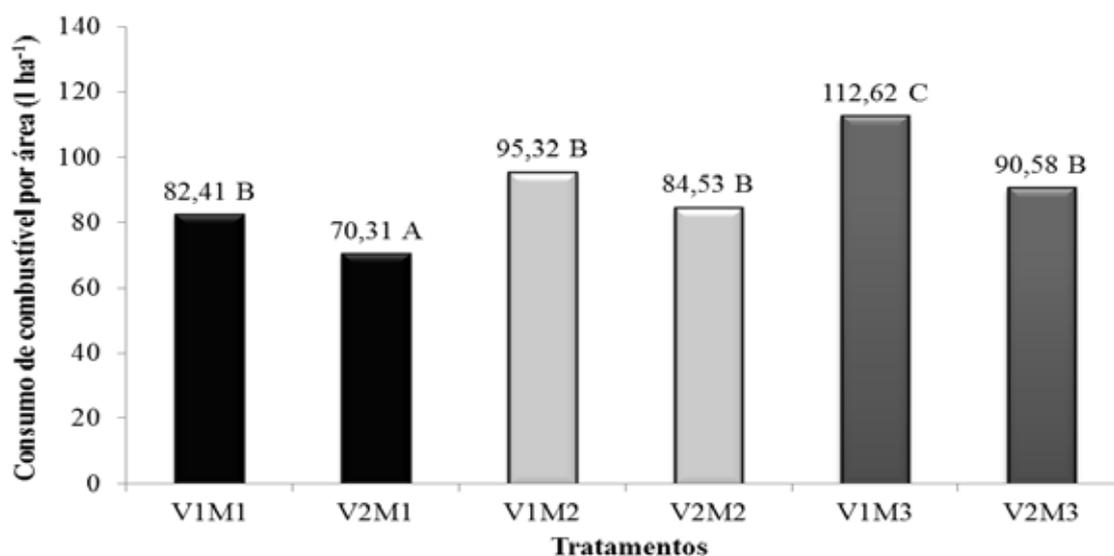


Figura 33. Média do consumo de combustível por área dos tratamentos (L ha⁻¹).

Os resultados deste trabalho foram semelhantes aos encontrados por Giachini (2012) que obteve de 80 a 123 L ha⁻¹ e Belardo (2010) de 72 a 85 L ha⁻¹; porém, foram superiores aos valores obtidos por Lyra (2012) de 53 a 68 L ha⁻¹.

Foi observado que o consumo de combustível por área diminuiu à medida que foi aumentada a velocidade de deslocamento. A maior velocidade de deslocamento (V2 – 5,5 km h⁻¹) apresentou menor consumo de combustível por área, diferenciando-se estatisticamente da menor velocidade (V1 4,0 km h⁻¹) ao nível de 1% de probabilidade (Figura 34).

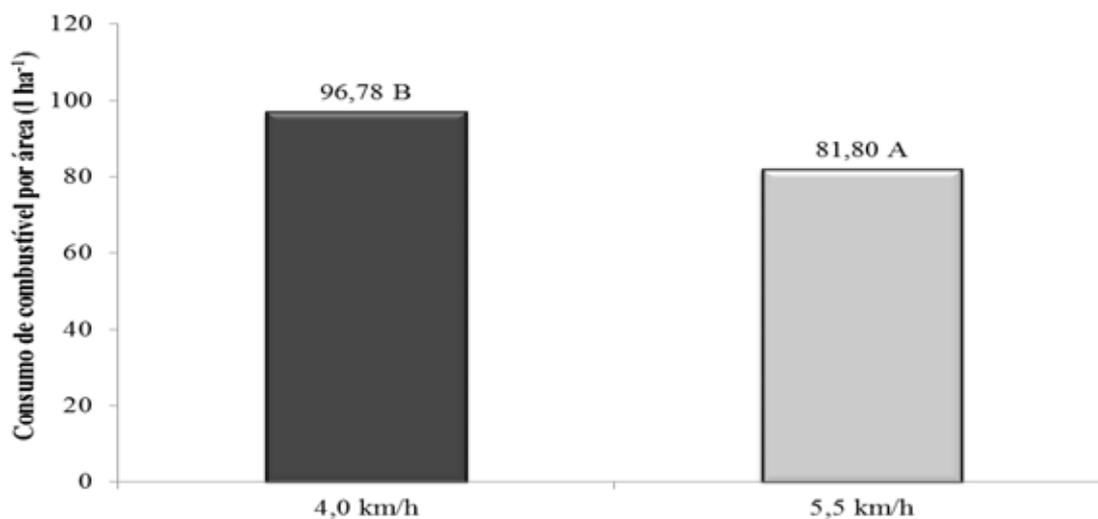


Figura 34. Média do consumo de combustível por área (L ha⁻¹) das duas velocidades avaliadas.

4.9.3 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida ($L t^{-1}$)

A Figura 35 apresenta o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida ($L t^{-1}$) para os tratamentos avaliados. Os tratamentos V2M1; V2M2 e V2M3 apresentaram menor consumo de combustível e não diferiram entre si ao nível de 1% de probabilidade. Os tratamentos V1M1; V1M2 e V1M3 foram diferentes dos tratamentos com maior velocidade (V2 - $5,5 km h^{-1}$) e consumiram mais combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida.

Os resultados encontrados neste trabalho foram semelhantes aos resultados de Neves (2011) que obteve média de $1,15 L t^{-1}$ e Tomazela et al. (2010) de $0,97 L t^{-1}$ e embora muito próximos, foram maiores que os obtidos por Lyra (2012) com $0,71 L t^{-1}$, Giachini (2012) de $0,61 L t^{-1}$, Belardo (2010) $0,70 L t^{-1}$ e Schmidt Junior (2011) de $0,75 L t^{-1}$.

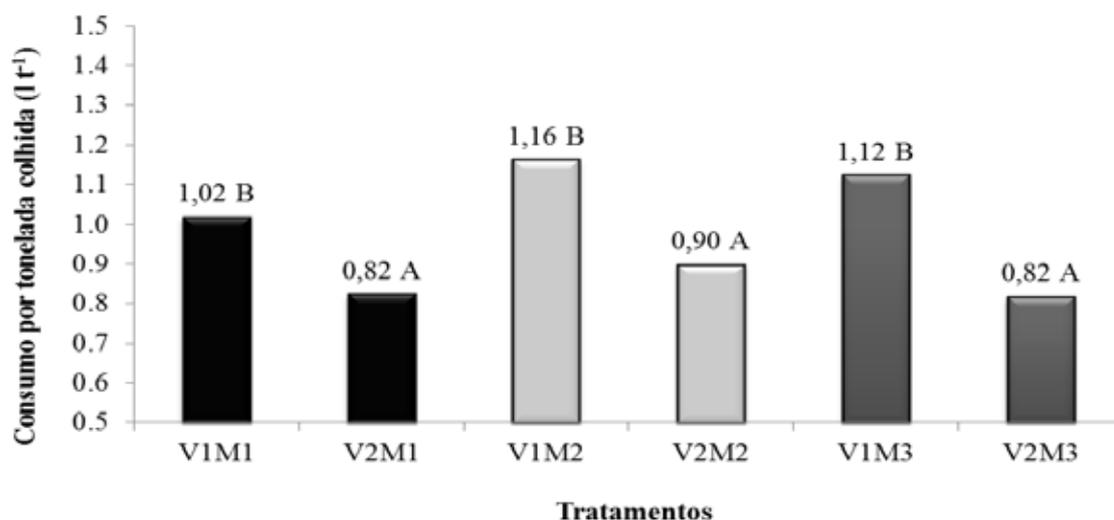


Figura 35. Média do consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida ($L t^{-1}$) dos tratamentos.

A Figura 36 apresenta a média do consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida das duas velocidades avaliadas. Foi observado que o consumo de combustível por tonelada diminuiu à medida que se aumentou a velocidade de deslocamento, sendo os valores entre as duas velocidades diferentes estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade.

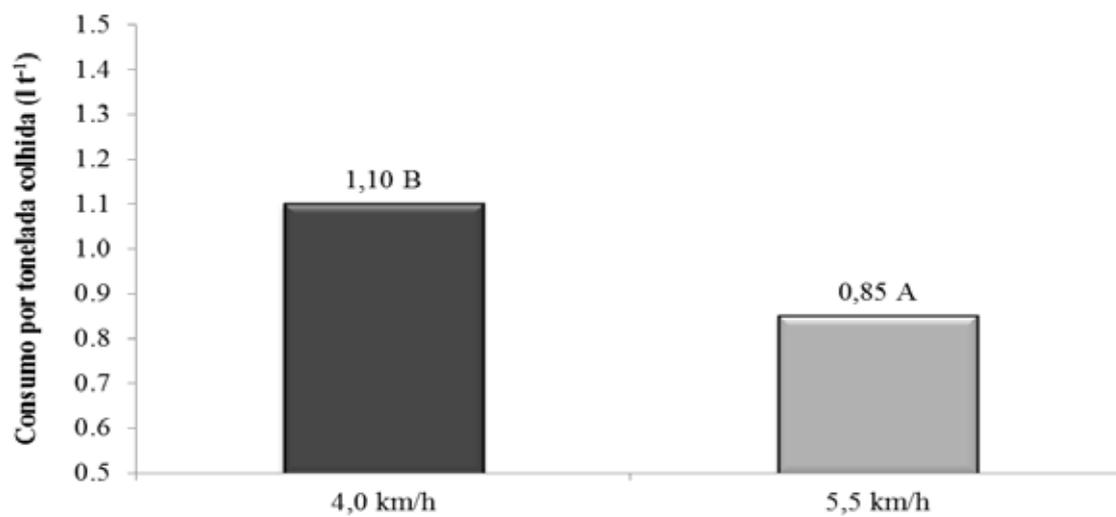


Figura 36. Média do consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida (L t⁻¹) das duas velocidades avaliadas.

5 CONCLUSÕES

O consumo horário de combustível da colhedora de cana-de-açúcar variou de acordo com a rotação do seu motor e da sua velocidade de deslocamento, aumentando à medida que se aumentou a rotação ou a velocidade.

Quanto maior a velocidade de deslocamento da colhedora, menor foi o consumo de combustível por área e por tonelada de cana-de-açúcar colhida.

A capacidade de colheita da colhedora foi influenciada pela sua velocidade de deslocamento, aumentando à medida que se aumentou a velocidade.

As perdas de matéria-prima apresentaram níveis baixos ($< 2,5\%$) para a menor velocidade ($4,0 \text{ km.h}^{-1}$) e níveis médios ($2,5 - 4,5\%$) para a maior velocidade ($5,5 \text{ km.h}^{-1}$).

O aumento da velocidade de deslocamento e da rotação do motor da colhedora provocou a diminuição do comprimento e da qualidade do cisalhamento dos rebolos colhidos, aumentando a porcentagem de danos à medida que se aumentaram esses fatores.

A altura do corte basal apresentou influencia sobre os danos causados às soqueiras, aumentando a porcentagem de danos à medida que se aumentou a altura de corte.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. **Yearbook of standards** 1983-1984. St. Joseph, 1984. 1040 p.

BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) sem queima**. 2010. 136 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

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.

BENEDINI, M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G.; **Perdas e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada**. *Boletim técnico*. Guariba, 2009. 7p. Disponível em: www.canaoeste.com.br

BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J.; Espaçamento ideal de plantio para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Coplana**, Guariba-SP. n. 52, p. 26-28, Out 2008. Disponível em: www.coplana.com

BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J.; Sistematização de área para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Coplana**, Guariba-SP. n. 53, p. 23-25, Nov 2008. Disponível em: www.coplana.com

BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L.; Colheita mecanizada de cana crua: caminho sem volta. **Coplana**, Guariba-SP. n. 40, p. 22-25, Ago 2007. Disponível em: www.coplana.com

BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L.; Desmistificando a colheita mecanizada da cana crua. **Coplana**, Guariba-SP. n. 42, p. 26-28, Nov 2007. Disponível em: www.coplana.com

BURLEIGH ; Associates. A comparative evaluation of sugarcane harvesting and transport systems for use in the brazilian sugar industry. São Paulo. COPERSUCAR. 1988. 54 p.

CAMPANHÃO, J. M. Comportamento de variedades em áreas de colheita mecanizada de cana verde. In. WORKSHOP CANA CRUA: EXPERIENCIA ACUMULADA, 2, 2000, Jaboticabal.

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

CARVALHO, L. A. de et al . Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 940-949, 2011 .

CENICAÑA. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colômbia, Cali, v. 19, n. 1, p. 7-10. jan./abr. 1997.

COELHO, M. F. **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Central de informações agropecuárias. Disponível em: <www.conab.gov.br> Acesso em: 15/01/2013.

COSTA NETO, J. D. da A cana em tempo bom. *Revista CREA-PR*, Curitiba, n. 41, p. 16-19, 2006.

DE LÉON, M.J. **Avaliação de desempenho operacional de duas colhedoras de cana (*Saccharum spp*) crua**. 2000. 111 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

FUELLING, T. G. Sugar Cane Harvester Design. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, 1982. p. 131-137.

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

FURLANI NETO, V.L.; **Colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) avaliação em canaviais com e sem queima prévia**. 1995. 110p. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.C.; VILLA NOVA, N.A. Avaliação de desempenho operacional de colhedora em canaviais com e sem queima prévia. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 18-23, 1996.

FURLANI NETO, V. L.; RIPOLI, T. C. C.; VILLA NOVA, N. A. Colheita mecânica: perda de matéria prima em canaviais com e sem queima prévia. In: **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 14, n. 6, p. 14-18, 1996.

GIACHINI, C. F. **Desempenho operacional de uma colhedora de cana-de-açúcar (saccharum spp.) em função dos turnos de trabalho**. 2012. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

JUNQUEIRA, C. P.; STERCHILE, S. P. W.; SHIKIDA, P. F. A. Mudanças no padrão tecnológico do corte de cana-de-açúcar: uma análise do caso paranaense. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46. **Anais...** Rio Branco, AC, 2008. 23p. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/9/21.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2013.

KROES, S. **The cutting of sugarcane**. Toowoomba: University of Southern Queensland, 1997. 356p Ph.D. Thesis

LYRA, G. A. de. **Consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da velocidade e rotação do motor**. 2012. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

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, 2008.

MAGALHÃES, P. S. G.; MILAN, M.; MOLIN, J. P.; SOUZA, Z. M.; VOLPATO, C. E.; SIMÕES, J. Colheita de cana-de-açúcar e palha para a produção de Etanol. In: WORKSHOP - COLHEITA, TRANSPORTE E RECUPERAÇÃO DE PALHA, 2., 2006. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2006. 19 p.

MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Colheita de cana-de-açúcar: Atualidade e perspectiva. In: Congresso de Ingeniería Rural y Mecanización Agraria en el Ambito Latinoamericano, 3, 1998, La Plata. **Anais...** La Plata: ALIA, 1998. p.262-271.

MASIERO, F. C. **Determinação e avaliação da compactação do solo em diferentes ciclos anuais da cultura de cana-de-açúcar**. 2013. 204 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

MAZZONETTO, A.W. **Colheita integral de cana (*Saccharum SSP*) crua, análise de desempenho operacional**. 2004. 88 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MELLO, R. C.; HARRIS, H. Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 355-358, 2003.

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

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

MOLINA JR, W.F.; RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G.; CANALE, A.C.; RIPOLI, M.L.C.; Comparative study of operational performance of three harvesters in green cane. In: ASAE INTERNATIONAL ANNUAL MEETING, 2001. **Anais...** Sacramento. Proceedings... 2001.

MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo**. 2008. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

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

MORAES, E.E.; NEVES, J.L.M. Colheita de cana crua: avaliação de perdas invisíveis nos sistemas com colhedoras de cana picada. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1997.p. 288-297.

MORENO, Luís Marcelo. **Transição da colheita da cana-de-açúcar manual para a mecanizada no Estado de São Paulo: cenários e perspectivas**. 2011. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011

NERY, M. S. **Desempenhos operacional e econômico de uma colhedora em cana crua**. 2000. 108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

NEVES, J. L. M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar e alternativas para sua redução**. 2003. 223 p, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2003.

NEVES, J. L. M.; MAGALHÃES, P. S. G.; OTA, W. M. Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.764-70, 2004.

NEVES, J. L. M. et al. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.787-94, 2006.

NEVES, P. T. **Manutenção produtiva total**: estudo de caso na colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

NORONHA, R. H. F.; SILVA, R. P.; CHIODEROLI, C. A.; SANTOS, E. P; CASSIA, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.

OLIVEIRA, A. M. S. As inovações tecnológicas e as novas formas de gestão e controle do capital sobre o trabalho. **Pegada Eletrônica**, v.3, n.1, out. 2002.

PARANHOS, S. B.; RIGHI, J. C.; RIPOLI, T. C. C. Sulcos duplos. In: Seminário interno Copersucar. **Anais...** Piracicaba. 1974. 6p.

PELOIA, Paulo Rodrigues; MILAN, Marcos; ROMANELLI, Thiago Libório. Capacity of the mechanical harvesting process of sugar cane billets. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 67, n. 6, 2010 .

REIS, G. N. dos. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 73 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Ciência do solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2009.

RIPOLI, T.C.C.et al. Operational and economic performance of green cane chopped harvester, in Brazil, In: INTERNATIONAL ANNUAL MEETING ASAE, Sacramento, 2001.**Anais...** St. Joseph: ASAE, 2001.

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

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

ROMERO, M.L.C.; ZAMORA, F.P.; OLEA, I.; SCANDALIARIS, J.; MARTÍN, L. Evaluación de nuevas cosechadoras integrales. **Avance Agroindustrial**, Tucumán, v. 13, n. 52, p. 24-28, mar.1993.

ROQUE, A. A. de O.; SOUZA, Z. M.; ARAUJO, F. S.; SILVA, G. R. V. da. Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfico agrícola. **Ciência Rural**, Piracicaba, v. 41, n. 9, p. 1536-1542, 2011.

SALVI, J.V. **Qualidade do corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2006. 89 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

SANTOS, N. B. dos; **Identificação dos fatores críticos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2011. 85p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2011.

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

SEGATO, S.V.; DAHER, F. Perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua sob velocidades de deslocamento da colhedora. **Nucleus**, v.8, p. 315-326, 2011.

SEGATO, S.V.; PINTO, A.deS.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J.C.M.de. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006. 415p.

SILVA, R. A. **Aprimoramento de um despalhador de colmos inteiros de cana-de-açúcar por rolos oscilantes com diferencial de velocidades**. 2003. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. ; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

TOMAZELA, M.; DANIEL, L.A.; FERREIRA, J.C. Administração limpa e enxuta em sistemas hidráulicos de colhedoras de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 358-366, mar./abr. 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Dados e cotações: estatísticas. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

VOLPATO, C. E. S.; BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, C. A. A. Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de cortador base para colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 345-8, 2002.

VOLPATO, J. L. M. **Otimização de um cortador de base flutuante para seguimento do perfil de solo em colhedoras de cana-de-açúcar**. 2001. 204 p. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

YOUNGER, J. A. Quality cane and extraneous matter. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS. 17. Manila, Feb. 1-11. 1980. **Proceedings**. Philipinnes, 1980. v.1. p. 885-890.