

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

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE  
COLHEITABILIDADE PARA AVALIAR A COLHEITA MECANIZADA  
DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**CARLOS RENATO GUEDES RAMOS**

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

BOTUCATU – SP

Agosto – 2016

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

**METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE  
COLHEITABILIDADE PARA AVALIAR A COLHEITA MECANIZADA  
DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**CARLOS RENATO GUEDES RAMOS**

Orientador: Professor Doutor Kléber Pereira Lanças

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

BOTUCATU – SP

Agosto – 2016

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

Ramos, Carlos Renato Guedes, 1985-  
R175m Metodologia para determinação do índice de colheabilidade para avaliar a colheita mecanizada de cana-de-açúcar / Carlos Renato Guedes Ramos. - Botucatu : [s.n.], 2016  
xiii, 119 f. : fots. color., grafs. color., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016  
Orientador: Kléber Pereira Lanças  
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Colheita. 2. Cana-de-açúcar - Produtividade. 3. Mecanização agrícola. 4. Consumo de combustível. 5. Máquinas agrícolas - Desempenho. I. Lanças, Kléber Pereira. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: "METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE COLHEITABILIDADE PARA AVALIAR A COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR"**

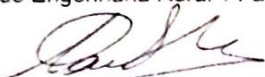
**AUTOR: CARLOS RENATO GUEDES RAMOS**

**ORIENTADOR: KLEBER PEREIRA LANÇAS**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



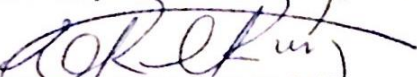
Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS  
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA  
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA  
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Dr. EDMILSON RENATO SILVA RUIZ  
/ Tonon Bioenergia S/A



Prof. Dr. FABRICIO CAMPOS MASIERO  
Departamento de Agronomia / Instituto Federal Catarinense

Botucatu, 20 de junho de 2016.

**DEDICO**

Incontestavelmente aos meus pais, Carlos Roberto de Goes Ramos e Nailce Guedes Ramos, pelo apoio incondicional em todas as minhas decisões, por serem uma base sólida para nossa família e pela dedicação aos filhos.

Aos meus irmãos Paulo Henrique e Roberta.

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

“Minha vida é andar por este país  
Pra ver se um dia descanso feliz  
Guardando as recordações  
Das terras onde passei  
Andando pelos sertões  
E dos amigos que lá deixei...”

Luiz Gonzaga

## 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 e doutorado.

Ao Professor Doutor Kléber Pereira Lanças, um exemplo de humildade e de dedicação à vida acadêmica, pela orientação ao longo dos últimos 6 anos entre mestrado e doutorado, apoio e principalmente por me receber carinhosamente como um dos seus filhos na família NEMPA (Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais).

Aos Professores Doutores Paulo Arbex e Saulo Guerra pela amizade, ensinamentos e contribuição para o enriquecimento do meu trabalho.

Aos membros da banca e suplentes, Professor Doutor Marcelo Silva, Doutor Edmílson Ruiz, Professor Doutor Fabrício Masiero, Professora Doutora Indiamara Marasca e Professor Doutor Alberto Nagaoka.

Às empresas parceiras do NEMPA e a seus colaboradores que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos amigos que fizeram e ainda fazem parte do NEMPA, por todos os anos de convivência, Gabriel Lyra, Fabrício Masiero, Camilo Giachini, Indiamara Marasca, Emanuel Spadim, Romulo Leonardo, Eric Cunha, Thiago Augusto, Ronilson Souza, Jefferson Sandi, Murilo Martins, João Victor e Fernanda Drudi.

Aos amigos da República Zona Azul, Fernando Kassis, Rodolfo Chechetto, Evandro Prado, Alexandre Lima, Emerson Córdova, Felipe Machado, Luiz Pannuti, Lucas Viegas, Fábio Gregory, Gabriel Baroni, Vinícius Bello e Thomaz Fiore pela ótima convivência.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

	Página
SUMÁRIO	
LISTA DE TABELAS .....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	IX
RESUMO .....	1
SUMMARY .....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
2.1 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar .....	7
2.2 Sistematização da área para a colheita mecanizada.....	9
2.3 Corte basal da cana-de-açúcar .....	12
2.4 Espaçamento de plantio e paralelismo entre as fileiras .....	15
2.5 Influência das características da cana-de-açúcar na colheita mecanizada.....	18
2.6 Desempenho operacional da colheita mecanizada.....	20
2.7 Qualidade da matéria-prima colhida.....	24
2.8 Perdas de matéria-prima.....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1 Descrição do Experimento.....	34
3.2 Colhedoras utilizadas.....	35
3.3 Descrição das Áreas.....	36
3.4 Área Experimental .....	37
3.5 Metodologia para Determinação do Índice de Colheitabilidade .....	37
3.5.1 Porte do Canavial (F1) .....	38
3.5.2 Produtividade Estimada do Canavial (F2) .....	39
3.5.3 Alinhamento entre Fileiras (F3).....	40
3.5.4 Posição da touceira em relação ao nível do solo (F4).....	41
3.5.5 Declividade do Terreno (F5).....	43

3.5.6 Sistematização e Nivelamento do Terreno (F6).....	43
3.6 Ensaio Padrão .....	44
3.7 Determinação da produtividade agrícola das parcelas experimentais .....	45
3.8 Determinação da velocidade de deslocamento .....	46
3.9 Avaliações de desempenho operacional .....	46
3.9.1 Capacidade de colheita efetiva.....	46
3.9.2 Consumo de combustível horário.....	47
3.9.3 Consumo de combustível por tonelada .....	48
3.10 Avaliações de qualidade da colheita mecanizada .....	48
3.10.1 Quantidade de impurezas na matéria-prima colhida.....	48
3.10.2 Perdas de matéria prima .....	50
3.10.3 Altura de toco e Abalo de soqueiras .....	52
4 RESULTADOS E DISCUSSAO .....	53
4.1 Avaliações do Índice de colheitabilidade .....	53
4.2 Produtividade agrícola das áreas.....	59
4.3 Velocidade de trabalho .....	65
4.4 Desempenho operacional.....	68
4.1 Capacidade de Colheita.....	69
4.2 Consumo horário de combustível .....	73
4.3 Consumo de combustível por tonelada colhida .....	78
4.5 Qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar.....	81
4.5.1 Impurezas vegetais na matéria-prima colhida.....	81
4.5.2 Impurezas minerais na matéria-prima colhida .....	85
4.5.3 Perdas de matéria-prima.....	88
4.5.4 Altura de toco e Abalo de Soqueira .....	96
4.6 Considerações Finais sobre o Índice de colheitabilidade .....	101



5 CONCLUSÕES .....	104
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	105

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Colhedoras utilizadas no experimento.....	35
<b>Tabela 2.</b> Características das áreas. ....	36
<b>Tabela 3.</b> Critérios para a atribuição da nota para o fator Porte do Canavial. ....	39
<b>Tabela 4.</b> Critérios para a atribuição da nota para o fator Produtividade do Canavial quando o parâmetro desejado é o rendimento operacional.....	40
<b>Tabela 5.</b> Critérios para a atribuição da nota para o fator alinhamento entre fileiras.....	41
<b>Tabela 6.</b> Critérios para a atribuição da nota para o fator Posição da touceira.....	42
<b>Tabela 7.</b> Critérios para a atribuição da nota para o fator Declividade do Solo. ....	43
<b>Tabela 8.</b> Critérios para a atribuição da nota para o fator sistematização e nivelamento do Terreno.....	43
<b>Tabela 9.</b> Classificação de impurezas minerais. ....	50
<b>Tabela 10.</b> Classificação de impurezas vegetais.....	50
<b>Tabela 11.</b> Classificação das perdas de matéria-prima (%). ....	52
<b>Tabela 12.</b> Análise da matriz de correlação entre os fatores e peso resultante atribuído à cada fator para o cálculo do índice de colheitabilidade resultante. ....	53
<b>Tabela 13.</b> Notas atribuídas aos fatores que formam o índice de colheitabilidade em todas as parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos com a colhedora A. ....	56
<b>Tabela 14.</b> Notas atribuídas aos fatores que formam o índice de colheitabilidade em todas as parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos com a colhedora B.....	57
<b>Tabela 15.</b> Notas atribuídas aos fatores que formam o índice de colheitabilidade em todas as parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos com a colhedora C.....	57
<b>Tabela 16.</b> Notas atribuídas aos fatores que formam o índice de colheitabilidade em todas as parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos com a colhedora D. ....	58

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Perfil do corte de base adaptado de Volpato, 2001 e Braunbeck; Magalhães, 2002. ....	10
<b>Figura 2:</b> Diferenças na altura do corte de base com a presença de "tocos altos" em canavial mal sistematizado (Fonte: Furlani Neto, 1995b). ....	11
<b>Figura 3.</b> Contato entre o corte de base e o solo (Direita) devido à falta de acompanhamento do perfil do solo pelo corte de base controlado manualmente em terreno com ondulações (Fonte: John Deere). ....	12
<b>Figura 4.</b> Representação esquemática do cortador basal flutuante desenvolvido por NEVES et al. (2001). ....	13
<b>Figura 5.</b> Detalhe do acompanhamento automático do perfil do solo pelo corte de base ..	15
<b>Figura 6.</b> Espaçamentos de plantio duplo alternado (a) e simples (b) tradicionalmente utilizados na cultura da cana-de-açúcar. ....	16
<b>Figura 7.</b> Fragmentos de cana-de-açúcar perdidos em decorrência da ação dos cortadores laterais situados nos divisores de fileiras das colhedoras numa cana entrelaçada, adaptado de Ripoli e Ripoli (2002). ....	19
<b>Figura 8.</b> Impacto das condições do campo e da cultura na presença de matéria estranha (%) junto à carga, adaptado de Patane e Whiteing, 2014. ....	27
<b>Figura 9.</b> Provável perda de cana-de-açúcar ( $t\ ha^{-1}$ ) em função do aumento da rotação do extrator primário (Adaptado de PATANE; WHITEING, 2014). ....	31
<b>Figura 10.</b> Representação gráfica da parcela experimental. ....	37
<b>Figura 12.</b> Triângulo retângulo utilizado para determinação do porte do canavial adaptado de Ripoli et al. (1977). ....	39
<b>Figura 13.</b> Representação gráfica do método de medição do alinhamento entre fileiras. ...	40
<b>Figura 13.</b> Representação gráfica das características do posicionamento das touceiras. ...	42
<b>Figura 14.</b> Representação gráfica do esquema de distribuição das avaliações de desempenho e qualidade da colheita mecanizada. ....	45
<b>Figura 15.</b> Balanças para pesagem do transbordo. ....	45
<b>Figura 16.</b> Coleta das amostras para análise de qualidade da matéria-prima. ....	48

<b>Figura 17.</b> Separação e Pesagem das amostras para determinações de qualidade da matéria-prima colhida.....	49
<b>Figura 18.</b> Demarcação da área para separação e pesagem das perdas no campo. ....	51
<b>Figura 19.</b> Tabela para a classificação dos danos às soqueiras. Adaptado de KROES.....	52
<b>Figura 20.</b> Análise de componentes principais do índice de colheitabilidade resultante para as áreas de colheita. ....	54
<b>Figura 21.</b> Análise de componentes principais do índice de colheitabilidade resultante para as rotações do extrator primário. ....	55
<b>Figura 22.</b> Análise de componentes principais do índice de colheitabilidade resultante para as velocidades de colheita.....	55
<b>Figura 23.</b> Produtividade média dos talhões colhidos durante o experimento. ....	59
<b>Figura 24.</b> Produtividade agrícola média das áreas onde cada colhedora realizou colheita. ....	60
<b>Figura 25.</b> Produtividade agrícola média das áreas onde cada colhedora realizou colheita. ....	60
<b>Figura 26.</b> Produtividade agrícola média de todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A. ....	61
<b>Figura 27.</b> Produtividade agrícola média de todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	62
<b>Figura 28.</b> Produtividade agrícola média de todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	63
<b>Figura 29.</b> Produtividade agrícola média de todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D. ....	64
<b>Figura 30.</b> Velocidade de trabalho alcançada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A. ....	65
<b>Figura 31.</b> Velocidade de trabalho alcançada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	66
<b>Figura 32.</b> Velocidade de trabalho alcançada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	67
<b>Figura 33.</b> Velocidade de trabalho alcançada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D. ....	68

<b>Figura 34.</b> Capacidade de colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A. ....	69
<b>Figura 35.</b> Capacidade de colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	70
<b>Figura 36.</b> Capacidade de colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	71
<b>Figura 37.</b> Capacidade de colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	72
<b>Figura 38.</b> Consumo horário de combustível em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A. ....	74
<b>Figura 39.</b> Consumo horário de combustível em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	75
<b>Figura 40.</b> Consumo horário de combustível em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	76
<b>Figura 41.</b> Consumo horário de combustível em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D. ....	77
<b>Figura 42.</b> Consumo de combustível por tonelada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A. ....	78
<b>Figura 43.</b> Consumo de combustível por tonelada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	79
<b>Figura 44.</b> Consumo de combustível por tonelada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	80
<b>Figura 45.</b> Consumo de combustível por tonelada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D. ....	80
<b>Figura 46.</b> Impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.....	82
<b>Figura 47.</b> Impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.....	82
<b>Figura 48.</b> Impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.....	83
<b>Figura 49.</b> Impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.....	84

<b>Figura 50.</b> Impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.....	85
<b>Figura 51.</b> Impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	86
<b>Figura 52.</b> Impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	86
<b>Figura 53.</b> Impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.....	87
<b>Figura 54.</b> Perdas totais de matéria-prima ( $t\ ha^{-1}$ ) em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A. ....	89
<b>Figura 55.</b> Perdas totais de matéria-prima ( $t\ ha^{-1}$ ) em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	90
<b>Figura 56.</b> Perdas totais de matéria-prima ( $t\ ha^{-1}$ ) em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	91
<b>Figura 57.</b> Perdas totais de matéria-prima ( $t\ ha^{-1}$ ) em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D. ....	92
<b>Figura 58.</b> Perdas totais de matéria-prima em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A. ....	93
<b>Figura 59.</b> Perdas totais de matéria-prima em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	94
<b>Figura 60.</b> Perdas totais de matéria-prima em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	94
<b>Figura 61.</b> Perdas totais de matéria-prima em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D. ....	95
<b>Figura 62.</b> Altura de toco encontrado após a colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.....	96
<b>Figura 63.</b> Abalo de soqueira verificado em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A. ....	97
<b>Figura 64.</b> Altura de toco encontrado após a colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	97
<b>Figura 65.</b> Abalo de soqueira verificado em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B. ....	98

<b>Figura 66.</b> Altura de toco encontrado após a colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.....	99
<b>Figura 67.</b> Abalo de soqueira verificado em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C. ....	99
<b>Figura 68.</b> Altura de toco encontrado após a colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.....	100
<b>Figura 69.</b> Abalo de soqueira verificado em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D. ....	101
<b>Figura 70.</b> Índice de colheitabilidade médio encontrado nas quatro áreas onde foi realizada a colheita dos tratamentos.....	101

## RESUMO

A expansão das lavouras de cana-de-açúcar no Brasil favorece a utilização do sistema de colheita mecanizada, contudo as diferenças de relevo, solo e clima das regiões produtoras impactam na tomada de decisão quanto às características das colhedoras que serão utilizadas, a fim de promover o rendimento operacional e econômico, com melhor qualidade da matéria-prima colhida. Este trabalho teve como objetivo elaborar e avaliar uma metodologia para verificar do estado do canavial em pré colheita, considerando-se as condições culturais, de solo, plantio e sistematização, utilizando uma ferramenta de análise qualitativa para determinação do índice de colheitabilidade em diferentes canaviais e a partir deste, avaliar o desempenho operacional e a qualidade da colheita de colhedoras de cana-de-açúcar, visando a adequação da operação de colheita. Foram realizados dois ensaios, com delineamento em faixas, onde cada tratamento foi aplicado em uma faixa e representou a colheita de uma parcela experimental. O ensaio 1 foi realizado utilizando-se duas colhedoras (A e B), três rotações do extrator primário (Baixa, Intermediária e Alta), duas áreas com produtividade agrícola distintas (Baixa e Alta) e duas velocidades de trabalho (Padrão de 4,0 km h<sup>-1</sup> e máxima alcançada), constituindo-se 24 tratamentos ou parcelas experimentais. O ensaio 2 foi realizado utilizando-se duas colhedoras (C e D), três rotações do extrator primário (Baixa, Intermediária e Alta), duas áreas com produtividade agrícola distintas (Baixa e Alta) e duas velocidades de trabalho (Padrão de 5,0 km h<sup>-1</sup> e máxima alcançada), constituindo-se 24 tratamentos ou parcelas experimentais. Observou-se que os fatores porte do canavial, produtividade agrícola, sistematização/nivelamento, declividade do terreno, alinhamento entre fileiras e posição das soqueiras, respectivamente, tiveram influência nos resultados



que compuseram o índice de colheitabilidade dos canaviais estudados. A produtividade agrícola do canavial apresentou influência nos resultados de desempenho operacional e qualidade da colheita. Em canaviais com pior índice colheitabilidade foram encontrados piores resultados de altura de toco e abalo de soqueira. As perdas de matéria-prima variaram em função da velocidade de colheita e da produtividade agrícola, sendo maiores quando aumentou-se tanto a velocidade quanto a produtividade agrícola.

METHODOLOGY TO SET THE HARVESTABILITY INDEX TO EVALUATE THE MECHANIZED HARVEST OF SUGAR CANE. Botucatu, 2016. 119p.

Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CARLOS RENATO GUEDES RAMOS

Adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

## SUMMARY

The expansion of sugarcane plantations in Brazil favors the use of mechanized harvesting system, however the soil and climate differences of the producing regions impacts the decision in which characteristics of harvesters that will be used in order to promote operational and economic efficiency with better quality of the raw material harvested. This study aimed to develop and evaluate a methodology to verify the characteristics of sugarcane plots in pre harvest, considering soil, planting and leveling conditions, using a qualitative analysis tool to determine the harvestability index in different plots and from this, to evaluate operational performance and the harvest quality of sugarcane harvesters, aiming to improve the harvesting operation. Two experiments were conducted with in a splitplot strip block experimental where each treatment was applied in a strip that represented the harvest of an experimental plot. The test 1 was performed using two harvesters (A and B), three primary extractor rotations (Lower, Middle and Upper), two areas with different yield (Low and High) and two ground speeds (Standard of 4.0 km h<sup>-1</sup> and the Maximum reached by the harvester), totalizing 24 treatments or experimental plots. Test 2 was conducted using two harvesters (C and D), three primary extractor rotations (Lower, Middle and Upper), two areas with different yield (Low and High) and two ground speeds (Standard of 5.0 km h<sup>-1</sup> and the Maximum reached by the harvester), totalizing 24 treatments or experimental plots. It was observed that the Lodging, yield, systematization/leveling, soil declivity, alignment between rows and stump position, respectively, had influence on the results that composed the harvestability index of the sugarcane fields analysed. Sugarcane yield influenced on the results of operational performance and harvest quality. In sugarcane fields with worse harvestability index were

found worse results for basecutter high and stump damage. The loss of raw material varied depending on the ground speed and sugarcane yield, being higher when increased the both, ground speed and yield.

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

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das culturas mais importantes do agronegócio brasileiro, sendo uma fonte de geração de energia alternativa à utilização das fontes convencionais, tornando o etanol um biocombustível de grande competitividade no mercado internacional, em detrimento do impacto ambiental causado por combustíveis fósseis. Contudo, apesar da capacidade para fornecimento interno e exportação desse biocombustível, com a atual crise no setor sucroenergético tem sido necessário investimentos em tecnologias de maior precisão e eficiência que promovam redução dos custos de produção.

Em termos de produção estima-se que, para a safra 2016/17, haja um incremento de 4,5% na produção em relação à safra anterior, com uma previsão total de cana processada de aproximadamente 690 milhões de toneladas, em uma área estimada de 9,0 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Com a irreversível utilização de máquinas para realização da colheita, foi necessário grande investimento nos processos de implantação e manejo da cana-de-açúcar a fim de adequar suas características culturais à nova forma de colheita. Dentre os principais fatores operacionais que impactam a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, o preparo do solo e sistematização dos talhões em termos tanto dimensionais, quanto de nivelamento são fundamentais para a qualidade do produto colhido, eficiência energética e operacional, bem como a manutenção da longevidade dos canaviais.

A partir da utilização do sistema de colheita mecanizada e, conseqüentemente, com o aumento da intensidade no tráfego de máquinas imposta por este sistema sobre a área cultivada, tem sido observado por parte dos produtores que os canaviais têm perdido em longevidade e produtividade agrícola durante as safras, fruto do pisoteio das fileiras de cana-de-açúcar, principalmente em áreas onde a sistematização não foi realizada de maneira adequada às características das máquinas utilizadas.

O sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar ainda tem sido questionado nos aspectos relativos às modificações necessárias para que haja melhor adequação entre as máquinas existentes no mercado e as particularidades dos canaviais de cada uma das unidades produtoras. Portanto é necessário que as empresas obtenham recursos que permitam a predeterminação das condições operacionais no que diz respeito à velocidade de operação e regulação da utilização dos dispositivos e funções que as colhedoras fornecem para melhoria da qualidade do trabalho durante a colheita, desde o corte dos ponteiros e basal dos colmos industrializáveis, ao fracionamento dos colmos em rebolos e a limpeza da matéria estranha mineral e vegetal.

A identificação prévia do estado do canavial que será realizada a colheita, ou seja, a sua colheitabilidade, permite obter informações que sejam relevantes para a melhor utilização das configurações operacionais a serem utilizadas pelas colhedoras durante a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, para que haja maior rendimento operacional e melhor qualidade da colheita.

Esta determinação pode ser utilizada como uma ferramenta para tomada de decisão relativa às recomendações de operação para cada talhão que será colhido durante uma safra ou em safras subsequentes, permitindo haver melhor controle das operações de colheita em relação à sua capacidade operacional, bem como planejamento e gestão da frota necessária para atender as necessidades das Usinas.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de elaborar e avaliar uma metodologia para verificar do estado do canavial em pré colheita, considerando-se as condições culturais, de solo, plantio e sistematização, aplicando uma ferramenta de análise qualitativa para determinação do índice de colheitabilidade em diferentes canaviais e a partir deste, avaliar o desempenho operacional e a qualidade da colheita de colhedoras de cana-de-açúcar em diferentes condições operacionais, visando a adequação da operação de colheita.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar**

Internacionalmente, o interesse em novos projetos de máquinas para colheita de cana-de-açúcar partiu da dificuldade e encarecimento da mão-de-obra para o corte manual e do desejo de redução de custos esperado devido ao aumento no desempenho das operações de colheita (PARANHOS, 1974). Neste sentido, na década de 50 teve início o processo de mecanização da colheita no Brasil, quando surgiram as primeiras carregadoras de cana-de-açúcar e na década de 70 com a importação de máquinas colhedoras e a fabricação de máquinas autopropelidas (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Além destes fatores, as pressões ambientais contra a queima da palha em pré-colheita e as questões trabalhistas envolvidas com a mão-de-obra para o corte manual foram preponderantes para o avanço da colheita mecanizada da cana-de-açúcar no Brasil (REIS, 2009).

Para Costa Neto (2006), a ascensão da colheita mecanizada da cana-de-açúcar ocorreu devido à elevada capacidade de trabalho das colhedoras, que chegava a substituir o equivalente a 100 pessoas trabalhando no corte manual, portanto este novo cenário minimizava os problemas de escassez de mão-de-obra e greves e resultava em menores custos em relação à colheita manual devido à melhor eficiência no abastecimento da indústria e possibilidade de programação da colheita.

A implantação de uma lavoura de cana-de-açúcar envolve uma série de cuidados, e para que a colheita, principalmente a mecanizada, seja bem sucedida, é

preciso atentar-se ao plantio uma vez que a longevidade do canavial depende da interação entre estas operações (GARCIA, 2008).

Para Ripoli e Ripoli (2006), na implantação de um canavial deve-se considerar os preceitos de boas técnicas agronômicas desde o bom preparo e tratamento fitossanitário do solo e adubação, utilização de mudas de alta qualidade, sadias e bem manipuladas, etc. No entanto, a massa de colmos produzida representa uma quantidade muito grande de material que torna difícil sua manipulação. Portanto, para o caso específico da cana-de-açúcar, industrializar essa produção não significa apenas colher a matéria-prima no campo e transportá-la para a indústria, é necessário um trabalho de planejamento e implantação da cultura, desde o preparo do solo até a operação de colheita (CERVI et al., 2015).

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar ocorre em áreas com topografia apresentando declividades menores que 12%. Contudo, para que haja ganhos em capacidade de colheita e produtividade agrícola para a cultura, são necessárias alterações técnicas de dimensionamento e sistematização dos solos, utilização de espaçamento adequado associado a um paralelismo na sulcação e adoção de variedades adequadas à colheita mecanizada, em que a interação destes fatores contribui para melhoria da qualidade da colheita, redução do excesso de manobras, pisoteios na soqueira e perdas de matéria-prima (BENEDINI; DONZELLI, 2007).

Rodrigues e Abi Saab (2007) destacam que a mudança na etapa da colheita, de manual para mecânica, não é apenas uma mera substituição de uma técnica por outra, porque, em termos agrícolas, isto significa combinar e otimizar aspectos como o preparo do solo na lavoura, o dimensionamento dos equipamentos no campo, a equipe de manutenção e apoio, o treinamento do pessoal envolvido, além das alterações no transporte e recepção da cana-de-açúcar na indústria.

Ripoli e Ripoli (2009) afirmam que as condições agronômicas, ambientais, técnicas e de gerenciamento influenciam na colheita mecanizada e, portanto, esta deve ser executada dentro de preceitos técnicos recomendados para que a qualidade da matéria-prima, a produtividade e a longevidade do canavial não sejam comprometidas. Segundo os autores, a colheita e o transporte da matéria prima até a unidade industrial representam cerca de 30% de todos os custos envolvidos no sistema produtivo canavieiro (variedades, fertilizantes, mão de obra, agroquímicos, operações mecanizadas) e o alto

consumo de combustível das colhedoras é um agravante desta operação, já que pode atingir cerca de 50 a 60 L h<sup>-1</sup> por máquina.

Conforme Santos (2011), no processo de colheita mecanizada a colhedora possui maior impacto nos custos, e as variáveis de maior importância para o sistema de colheita são a eficiência de campo e o valor inicial das máquinas que pode chegar a 1 milhão de reais.

As colhedoras de cana-de-açúcar existentes no mercado estão em desenvolvimento, adquirindo tecnologias que simplificam o processo de colheita para o operador, fornecendo dados que permitem melhorar o gerenciamento do que está sendo realizado no campo, maximizando os ganhos em capacidade operacional, aproveitamento energético e qualidade do material colhido (RAMOS, 2013).

Dentre as atividades do processo de implantação e de condução da cultura da cana-de-açúcar, sejam elas manuais, mecanizadas ou semimecanizadas, destacam-se o preparo do solo (dessecação, aplicação de corretivo e mobilização do solo), o plantio (sulcação, adubação e cobertura), os tratos culturais (cultivo, aplicação de agrotóxico e adubação de cobertura) e a colheita, fechando o ciclo da safra (REIS, 2009).

## **2.2 Sistematização da área para a colheita mecanizada**

A sistematização é a adequação da área que será cultivada, a fim 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 carreadores, bem como o planejamento da sulcação (BENEDINI; CONDE, 2008; RIPOLI; RIPOLI, 2009).

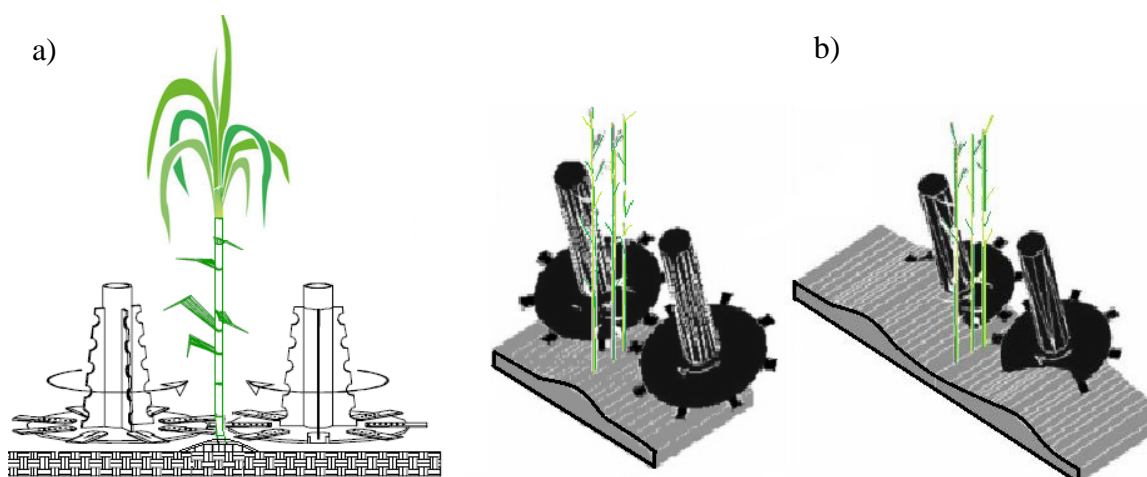
O preparo do solo e o plantio são aspectos importantes para a qualidade do corte basal realizado pelas colhedoras, pois à medida que aumentam os desníveis, buracos, presença de obstáculos como pedras e tocos na área de colheita, também aumentam as dificuldades de operação das colhedoras, resultando em maior perda de matéria-prima, presença de matéria estranha mineral e necessidade de manutenção das máquinas (VOLPATO, 2001).

Segundo Magalhães e Braunbeck (1998), a falta de nivelamento do solo era um dos fatores que dificultavam o corte de base e recolhimento dos colmos



durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Embora o dispositivo de corte de base possibilitasse variação na altura do corte através de acionamento hidráulico, era projetado para cortar colmos em um ponto um pouco acima do nível do terreno, onde na condição ideal, a touceira deveria estar sobre um leve camalhão (Figura 4a), contudo, essa condição era raramente encontrada, pois as práticas de preparo do solo no Brasil ainda não estavam voltadas para a colheita mecanizada (VOLPATO, 2001; RIPOLI; PARANHOS, 1990).

Para Ripoli e Ripoli (2009), quando a cana-de-açúcar encontra-se dentro de um sulco (Figura 4b), a colhedora tem dificuldade para realizar o corte de base na altura desejada, o mais próximo da base da soqueira, podendo ocorrer dilaceramento do colmo devido à menor resistência de sustentação. Além disso, o corte não homogêneo, geralmente deixa um toco alto e fragmentado, o que aumenta as perdas no campo e a probabilidade de ataque de insetos e doenças na soqueira, bem como a presença de solo na matéria-prima colhida e o desgaste prematuro das facas por abrasão.

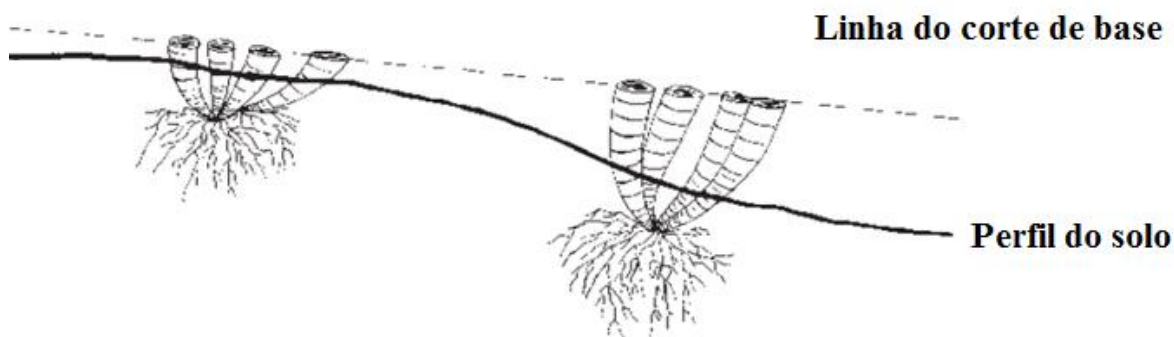


**Figura 1:** Perfil do corte de base adaptado de Volpato, 2001 e Braunbeck; Magalhães, 2002.

Portanto, a formação de um consistente camalhão, combinado com o correto ajuste do ângulo e altura do corte de base das colhedoras é vital para diminuir os danos às soqueiras, as perdas e a presença de solo na cana colhida. Quando a cana-de-açúcar a ser colhida encontra-se em um sulco ou a base da soqueira está nivelada à entrelinha, assim como a presença de torrões na linha de plantio, fazem com que o operador levante o cortador de base a fim de evitar impurezas minerais, podendo causar abalo às soqueiras e perdas de cana na forma de “tocos” (PATANE; WHITEING, 2014).

O tráfego de colhedoras e transbordos em áreas que não foram devidamente sistematizadas causa o pisoteio das fileiras de cana-de-açúcar, resultando em perda de vigor, falhas e redução da produtividade agrícola nas safras subsequentes (BENEDINI; CONDE, 2008).

Ao avaliar o controle de tráfego em espaçamentos duplos e simples, Furlani Neto (1995b) concluiu que há uma dificuldade no corte simultâneo de duas fileiras devido principalmente ao nívelamento e o paralelismo que se encontram no campo, resultados de preparo de solo e/ou sistematização ineficientes, aumentando a incidência perdas de “tocos” (Figura 5) no corte de base ou, no caso de abaixar o nível do corte, no maior risco de “arranquio” de soqueiras.



**Figura 2:** Diferenças na altura do corte de base com a presença de "tocos altos" em canavial mal sistematizado (Fonte: Furlani Neto, 1995b).

Conforme MA et al., (2015), em talhões com nivelamento irregular, torna-se difícil para as colhedoras cortarem os colmos à uma altura uniforme, resultando em tocos com altura de corte desigual, além disso, solos pedregosos também podem aumentar a probabilidade de danos às laminas do corte de base e a todo o mecanismo de corte de base, resultando em menor disponibilidade mecânica das máquinas.

Segundo Salvi (2006), o preparo de solo e plantio, as características da cana-de-açúcar, as perdas, danos e impurezas minerais em função do corte de base, velocidade de trabalho e a automatização do controle de corte de base são os principais fatores que devem ser considerados para a avaliação do corte de base realizado por colhedoras de cana-de-açúcar.

### 2.3 Corte basal da cana-de-açúcar

Nas colhedoras de cana-de-açúcar, o mecanismo para realizar o corte na base dos colmos é composto por um par de discos rotativos munido de múltiplas lâminas, os quais, além de cortar a base dos colmos por impacto, auxiliam no processo de alimentação e varredura do solo, recolhendo os colmos derrubados pela colhedora e fragmentos liberados na divisão de linhas (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2002).

O uso deste tipo de corte mecânico apresenta algumas peculiaridades relacionadas às interações máquina-planta durante a colheita que pode gerar danos à cana-de-açúcar. A destruição ou arranquio do sistema radicular (soqueira) causados pelo contato com os discos de corte basal (Figura 1) podem aumentar a exposição do toco ao ataque de pragas e doenças (tocos muito altos e/ou dilacerados) e remover novas gemas responsáveis pela brotação, resultando em redução da produção para a safra seguinte (KROES; HARRIS, 1996).

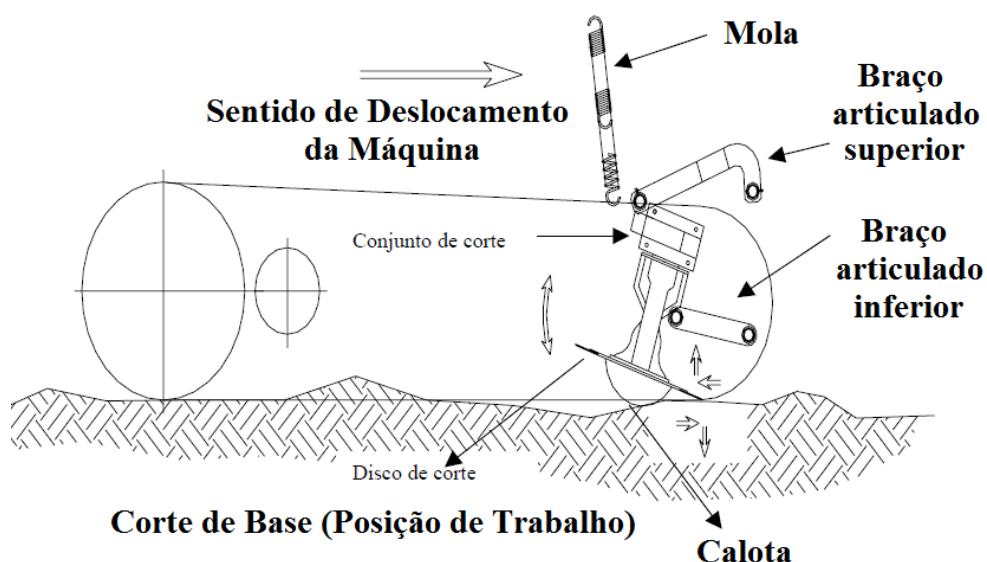
A princípio, a variação da altura de corte do cortador de base era realizada por mecanismos hidráulicos controlados manualmente pelo operador (RIPOLI; PARANHOS, 1990). Para Garson (1992), os sistemas e dispositivos para auxiliar o operador das colhedoras de cana-de-açúcar, como a automatização do mecanismo de regulagem da altura do corte basal poderia ser um efetivo caminho para reduzir a quantidade de solo presente no material levado para a indústria, os danos à soqueira, bem como facilitaria a operação da colhedora, reduzindo consumo de combustível (GARSON; ARMSTRONG, 1993).



**Figura 3.** Contato entre o corte de base e o solo (Direita) devido à falta de acompanhamento do perfil do solo pelo corte de base controlado manualmente em terreno com ondulações (Fonte: John Deere).

Schembri et al. (2000) ao avaliar controladores automatizados para altura do corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar, concluíram que sensores ultrassônicos, que medem a distância da estrutura da colhedora ao solo, não acompanharam automaticamente a superfície do terreno e mantiveram a altura do corte de base incorreta quando havia mudança significativa do perfil do solo.

Na busca por soluções para o controle da altura do corte de base, Neves et al. (2001) desenvolveram um mecanismo simples, constituído de braços articulados que uniam o conjunto de corte (motor, caixa de engrenagens, discos e facas de corte) à estrutura da máquina. A proposta era que, dessa forma, as ondulações, elevações e depressões do terreno fossem acompanhadas de modo suave e preciso. O conjunto de corte movimentava-se simultaneamente para trás e para cima ou para frente e para baixo, devido ao mecanismo de braços articulados. Além disso, havia duas molas aliviando o peso do conjunto para diminuir a pressão de contato com o solo e duas calotas para distribuir o peso residual do conjunto sobre a área projetada das calotas no terreno, conforme ilustrado na Figura 2. Os autores realizaram testes de campo em cana comercial com este dispositivo e concluíram que o índice de impureza mineral na matéria-prima colhida, a quantidade de soqueiras arrancadas e de perdas visíveis (tocos remanescentes) no campo foram menores quando a colhedora trabalhou equipada com este conjunto de corte basal.



**Figura 4.** Representação esquemática do cortador basal flutuante desenvolvido por NEVES et al. (2001).

Volpato et al. (2002) desenvolveram e avaliaram um mecanismo denominado de cortador de base flutuante para colhedoras de cana-de-açúcar que acompanhava a superfície do perfil de solo com base na força de interação desenvolvida no ponto de contato entre o disco e o solo, com a finalidade de evitar o recolhimento de solo durante a colheita. Os autores concluíram que os melhores desempenhos para seguimento do perfil do solo (flutuação) foram para perfis em rampa ascendente ou descendente, enquanto em perfis senoidais obtiveram os piores resultados, principalmente em velocidade elevada.

Ripoli et al. (2003) não observaram diferenças na presença de solo na cana-de-açúcar colhida ao realizar colheita comparando um mecanismo de corte de base flutuante a um cortador de base regular controlado manualmente, mesmo em diferentes velocidades de trabalho.

Rafull (2003) afirma que o deficiente controle da altura de corte provoca perdas, presença de impurezas no material colhido, desgaste excessivo das lâminas de corte, sobrecarga dos elementos de transmissão, aumento da exigência de potência e, no caso da cana-de-açúcar, ainda danos às soqueiras.

Salvi et al. (2005) analisaram o uso de um dispositivo semi-automático de corte de base sob utilização de operadores com graus de experiência distintos, concluindo que a habilidade/experiência do operador tem influência para a altura de corte da cana e o uso do dispositivo auxiliou o operador menos experiente a obter uma altura de corte média dentro do limite especificado pela usina. No entanto, segundo os autores, este processo esteve sob controle estatístico e a utilização do dispositivo não interferiu nos índices de impureza mineral, em comparação com o sistema de corte basal regular, controlado manualmente.

Salvi et al. (2007) ao avaliar o uso de um dispositivo semi-automático de corte de base (DAC) ligado e desligado, concluiu que este processo não está sob controle estatístico e não tem condições de manter a altura de corte especificada pela usina, porém pode ser útil para a manutenção de altura de corte menor, embora seja influenciado pelo estado do canavial quanto à idade e porte.

Para Reis (2009), o uso de recursos de flutuação independente por disco poderia reduzir a quantidade de solo encaminhada ao interior da colhedora, ao buscar o corte do colmo rente à superfície.

Os principais dispositivos de controle automático da altura de corte de base são baseados na interação entre os sinais de pressão de contato entre os divisores de linhas e a superfície do solo e do disco de corte de base e a soqueira da cana-de-açúcar, fazendo com que estes flutuem automaticamente e com maior eficiência ao copiar o perfil do solo, conforme ilustrado na Figura 3 (RIPOLI, 2014).



**Figura 5.** Detalhe do acompanhamento automático do perfil do solo pelo corte de base sinal recebido do divisor de linhas (Fonte: John Deere).

#### 2.4 Espaçamento de plantio e paralelismo entre as fileiras

O espaçamento entre fileiras de plantio é um dos fatores que interferem na qualidade da colheita mecanizada, pois a ausência de paralelismo entre fileiras e falta de adequação entre a bitola das máquinas e a área reservada ao tráfego em espaçamentos menores, provoca o pisoteio e esmagamento dos colmos da próxima fileira a ser colhida, além de dificultar o corte e recolhimento, prejudica a soqueira e favorece a compactação do solo (RIPOLI; RIPOLI, 2002).

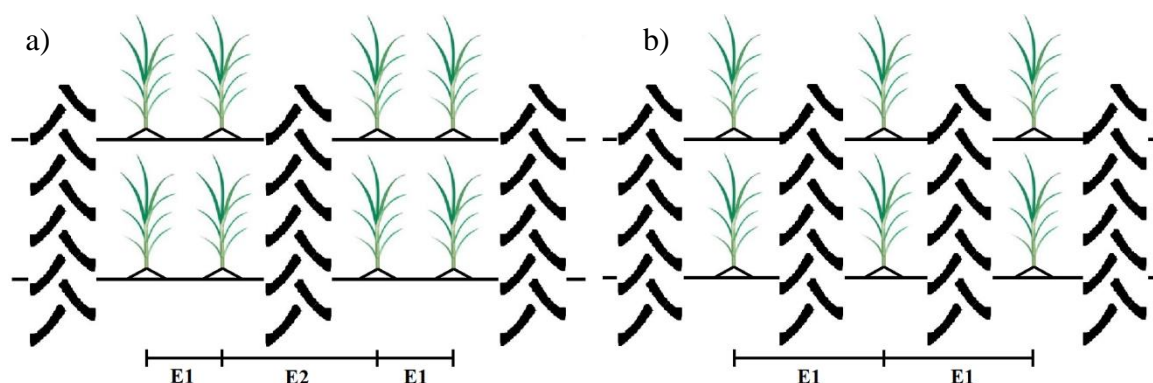
Benedini e Conde (2008) afirmam que a utilização de espaçamentos entre fileiras reduzidos (0,90 a 1,10m) torna ainda mais grave os efeitos do pisoteio e compactação do solo, já que ocorre diminuição da área reservada para o tráfego. Além disso, a adequação do espaçamento de plantio às diferentes condições de solos, variedades, clima, relevo e máquinas é determinante na disponibilização de recursos como luz, água e temperatura (SEGATO et al., 2006).

O desenvolvimento do tráfego controlado ou canteirização da linha da soqueira, resultado da adequação das bitolas de colhedoras, tratores e transbordos para evitar o pisoteio das soqueiras, resulta em maior espaço de solo sem compactação ao lado das soqueiras, propiciando melhor desenvolvimento do canavial e maior longevidade (BENEDINI; DONZELLI, 2007).



Muitos são os fatores que interferem na qualidade do plantio, desde sua densidade, preparo do solo, época de plantio, escolha da variedade, qualidade e idade da muda, paralelismo das fileiras de plantio (GARCIA, 2008). Portanto as práticas de plantio são importantes para o sucesso do cultivo, numa população de plantas adequada, ausência de pragas durante a fase inicial da cultura, bom uso do solo, dentre outras características que permitem conduzir o canavial à boa colheita (SILVA et al., 2004).

O espaçamento de plantio é definido como sendo a distância entre os sulcos ou fileiras a uma distância equidistante entre si, denominando-se espaçamento simples (Figura 6a), ou a uma distancia variada entre as fileiras, no caso do espaçamento alternado, conforme ilustrado na Figura 6b (RIPOLI; RIPOLI, 2006).



**Figura 6.** Espaçamentos de plantio duplo alternado (a) e simples (b) tradicionalmente utilizados na cultura da cana-de-açúcar.

Ao longo dos anos, diversos autores estudaram os espaçamentos utilizados na cana-de-açúcar e concluíram que o adensamento do plantio com o uso de espaçamentos menores, até certos limites, acarretam em maiores produtividades, principalmente em solos de baixa fertilidade, “fechamento” mais rápido da cultura, auxiliando no controle de plantas daninhas, porém torna difícil a mecanização das operações, tendo em vista que a diminuição das bitolas acarretaria num diminuição da estabilidade das máquinas envolvidas (CASAGRANDE, 2000).

Outros autores afirmam que os espaçamentos duplos ou alternados proporcionam maior controle de tráfego devido ao maior espaço disponível para os rodados das máquinas, apresentando índices de produção que lhes permitem serem considerados como alternativa para contornar problemas de bitola das máquinas na motomecanização e danos às soqueiras. Além disso, aumento de produtividade agrícola

(em média 11%) e maior longevidade do canavial, dada eficácia no controle de tráfego e consequente diminuição do pisoteio das fileiras de cana; maior eficiência na colheita mecanizada, melhor aproveitamento das águas da chuva e menor erosão/assoreamento, e redução do número de manobras e distância percorrida pelos conjuntos mecanizados na área, pois quanto maior a bitola da colhedora, menor será a compactação no solo, tendo em vista que a máquina irá passar um número menor de vezes na área, resultando em aumento dos rendimentos operacionais e, conseqüentemente diminuição dos custos operacionais. Contudo, podem haver problemas posteriores de “fechamento” da cultura e a falta de nivelamento adequado do terreno pode causar o aumento de perdas e de impurezas minerais devido ao corte de base (FURLANI NETO, 1995b; ROSSETO; PASCOTO, 2001; COX, 2006).

Segundo Mialhe (1996), o tráfego de máquinas entre fileiras, deve respeitar um “afastamento de segurança (AS)”, definido como um afastamento lateral, a fim de não causar danos à cultura, de ambos os lados do eixo da fileira, a partir do qual a passagem da roda é inócua tanto à parte aérea das plantas como ao sistema radicular.

Para a cana-de-açúcar, Ripoli e Ripoli (2009) consideram que uma distância mínima de 0,25 m entre a borda da banda de rodagem do pneu mais próximo da fileira de cana e o centro da linha de soqueira, atende ao conceito de afastamento de segurança.

Considerando os atuais modelos de colhedoras no mercado, o espaçamento entre fileiras mais adequado em áreas de colheita mecanizada é o de 1,5 metro embora apresente distância entre os rodados das máquinas em relação à fileira da cultura de 0,23 m para o conjunto trator-transbordo e 0,12 m para a colhedora, não atendendo, portanto, o conceito do AS (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Segundo Rosa (2013), no caso do espaçamento duplo alternado, a principal configuração que tem sido adotada é a de 0,90 x 1,50 m, no qual os rodados dos veículos de transbordo ficam a uma distância de 0,15 m da entre fileira, ou seja, abaixo da distância recomendada como afastamento de segurança, contudo o espaçamento de 0,90 x 1,60 m, atendente a distância mínima de 0,25 m do afastamento de segurança (AS).

Monaco Junior (2011) ao avaliar o desempenho de duas colhedoras em espaçamento simples e duplo alternado, observou que a capacidade de colheita, a uma mesma produtividade, aumenta cerca de 50% na colheita do espaçamento duplo alternado



e promove redução no consumo de combustível por tonelada colhida em torno de 45%. Já Dalben (2011) relata que a capacidade operacional de colhedoras para fileiras duplas é em média quase 80% superior às colhedoras para fileira simples, com redução no consumo de diesel por tonelada em torno de 60%, em canaviais de baixa produtividade.

## **2.5 Influência das características da cana-de-açúcar na colheita mecanizada**

Dentre os diversos fatores que influenciam na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, o uso de variedades adequadas é de fundamental importância, pois suas características fisiológicas e morfológicas interferem diretamente na qualidade do corte da matéria-prima enviada à indústria e na brotação subsequente.

Em princípio, as colhedoras operam melhor em canas com característica de porte ereta e vigorosa apresentando sistema radicular profundo, pois esta condição facilita o corte basal e dos ponteiros e fornece resistência de sustentação dos colmos ao impacto das lâminas em rotação, favorecendo o cisalhamento adequado. Quando o sistema radicular encontra-se superficial, pode haver um corte imperfeito e destruição da soqueira, podendo aumentar a probabilidade de infecção com redução do brotamento subsequente (RIPOLI; RIPOLI, 2009; MELLO; HARRIS, 2003).

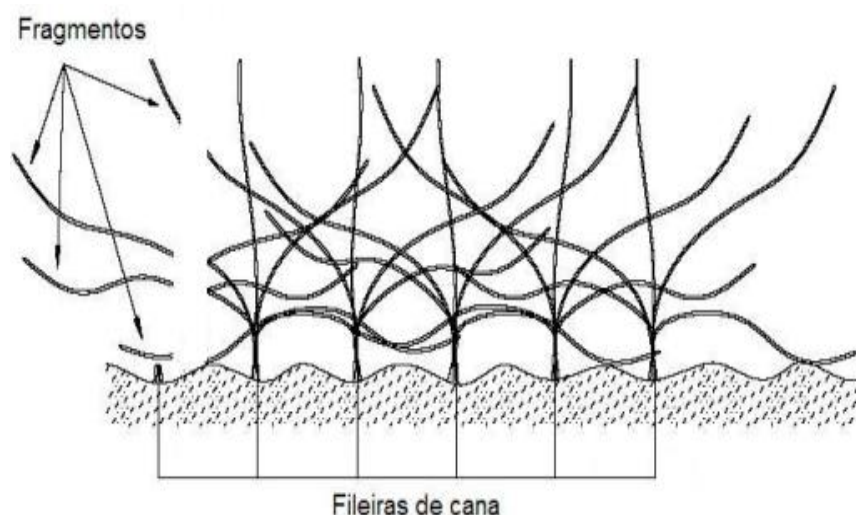
Os critérios para caracterização do grau de acamamento ou porte da cultura foram definidos por De Beer et al. (1985), em que foi determinado que o porte deveria ser considerado Deitado/Entrelaçado, quando a cana-de-açúcar encontra-se entre o nível do solo e 22,5° de uma maneira entrelaçada que não pode ser levantada ou separada das linhas adjacentes pelos divisores de linhas sem que haja quebra ou dano aos colmos; Deitado, quando a cana-de-açúcar encontra-se entre o nível do solo e 22,5°, porém pode ser levantada e separada pelos divisores de linhas sem que haja quebra ou dano dos colmos; Acamado, quando a cana-de-açúcar encontra-se entre 22,5° e 67,5° em relação ao nível do solo, e Ereto, quando a cana-de-açúcar encontra-se entre 67,5° e 90° em relação ao nível do solo.

Conforme Campanhão (2000), para melhor adaptação e eficiência na colheita mecanizada, a variedade de cana-de-açúcar utilizada deve possuir produtividade agrícola acima de 88 t ha<sup>-1</sup>, palmito curto, população uniforme de colmos,

resistência à cigarrinha, boa capacidade de brotação sob a palha, diâmetro de colmo de médio a grosso, seja de fácil despalhamento e, principalmente, possua porte ereto.

Para Junqueira et al. (2008), a colheita mecanizada exige variedades com raízes mais resistentes ao arranque mecânico, porte ereto, facilidade de despalhamento e brotação que consiga romper a camada de palha que fica disposta no solo após a colheita.

Ripoli e Ripoli (2002) afirmaram que a capacidade de trabalho das colhedoras pode ser afetada pela redução de velocidade de deslocamento que é necessária quando há alta produtividade de colmos no canavial (acima de  $120 \text{ t ha}^{-1}$ ) ou em condições em que a cana encontra-se acamada e/ou entrelaçada (Figura 7). Os autores alertam que estas condições associadas à elevada velocidade de trabalho podem proporcionar maior quantidade de embuchamentos (excesso de material vegetal nos órgãos ativos de funcionamento da colhedora, provocando a paralisação destes) e aumento das perdas.



**Figura 7.** Fragmentos de cana-de-açúcar perdidos em decorrência da ação dos cortadores laterais situados nos divisores de fileiras das colhedoras numa cana entrelaçada, adaptado de Ripoli e Ripoli (2002).

Singh et al. (2002) afirmam que o acamamento é comumente observado em regiões produtoras de cana-de-açúcar em todo o mundo e que esta condição torna desafiante a colheita mecanizada e resulta em perdas de matéria-prima.

Ridge et al. (1984) verificaram menor contaminação da matéria-prima colhida com terra em canaviais com colmos eretos e em cana sem queima prévia para colheita, em comparação a canaviais com colmos deitados e em cana queimada. Os

autores relataram que tal comportamento seria resultado da exudação ocorrida com a queima da cana, o que acarreta maior aderência superficial das partículas do solo ao colmo.

As colhedoras normalmente são fabricadas para colheita de matéria-prima para indústrias de açúcar, situações em que o material vegetal (incluindo folhas e ponteiros que são de 20 a 30 % de toda a massa úmida da planta de cana) deveria ser separado dos colmos pelos cortadores de pontas e extratores, caso contrário seria consumida uma considerável quantia em capacidade de colheita e poderiam reduzir a quantidade de açúcar extraída (HC&S, 2013). Já para a produção de biocombustível, a colheita requer que este material vegetal seja extraído, pois também são fonte de materiais lignocelulósicos e açúcares fermentáveis (KIM; DAY, 2011). Contudo, as colhedoras enfrentam desafios em processar este excesso de material vegetal quando há colheita integral, sendo observado que a capacidade de colheita pode ser reduzida em cerca de 43% (NÚÑEZ; SPAANS, 2008).

Segundo Ma et al. (2015), o desempenho das máquinas é limitado pelas condições do solo e porte da cana-de-açúcar, portanto para investigar como o porte da cultura e as condições do campo impactam na colheita mecanizada, é desejável avaliar o desempenho das colhedoras e identificar os principais problemas e mecanismos para implementar melhorias.

Para Benedini et al. (2009), variedades com alta presença de massa foliar exigem maior velocidade de rotação dos extratores, enquanto canaviais com menor produtividade e, conseqüentemente, massa vegetal reduzida, poderiam ser colhidos com regulagens distintas da condição anterior. Segundo os autores, a velocidade de rotação do extrator primário é o principal elemento nas magnitudes das perdas de cana e impurezas na matéria-prima, sendo importante planejar a regulagem da colhedora e devendo realizar avaliações periódicas das perdas e impurezas para ajudar na definição de rotações ótimas, em função das diferentes condições que serão encontradas na colheita.

## **2.6 Desempenho operacional da colheita mecanizada**

Belardo (2010) observou que é difícil, em operação normal, obter com precisão a velocidade desejada, as variações ocorridas são perfeitamente aceitáveis, mesmo sendo a velocidade pré-estabelecida nas colhedoras.

A velocidade de deslocamento das colhedoras de cana-de-açúcar é influenciada diretamente pelas condições da cultura e do terreno; porém, uma máquina com velocidade elevada, a capacidade de corte por unidade de tempo será maior. Geralmente, as colhedoras podem trabalhar com velocidade de até  $9,0 \text{ km.h}^{-1}$ , segundo especificações dos fabricantes, mas no estado de São Paulo, não têm ultrapassado  $4,0$  a  $6,0 \text{ km.h}^{-1}$ , possivelmente devido à falta de sistematização dos talhões, voltados para a colheita mecânica. As maiores velocidades em talhões não adequadamente sistematizados, principalmente no que se refere à condição da soqueira, levam inevitavelmente ao aumento de perdas de matéria-prima. A velocidade 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, 2002).

A velocidade de deslocamento é um fator significativo para o desempenho operacional das colhedoras de cana-de-açúcar e para o consumo de combustível. Quanto maior a velocidade maior será a capacidade operacional, com uma velocidade de deslocamento de  $7 \text{ km h}^{-1}$  a eficiência de campo pode chegar a 75%. O consumo horário de combustível também é influenciado pela velocidade de deslocamento da colhedora, sendo que quanto maior a velocidade maior o consumo horário e menor o consumo por tonelada de cana colhida (CARVALHO FILHO, 2000).

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 por 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. Já a capacidade operacional, pode estar relacionada a uma jornada de trabalho ou a uma safra e considera a somatória do tempo efetivo com todos os tempos de interrupções ocorridos durante a operação.

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.

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

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 km h<sup>-1</sup> 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.

Mialhe e Carraro Neto (1993) estudando a colhedora Class CC-2000 em canavial sem queima e utilizando duas velocidades de deslocamento, observaram que a capacidade efetiva bruta foi de 83 e 75 t h<sup>-1</sup>, nas velocidades de 3,6 e 4,0 km h<sup>-1</sup>, respectivamente.

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 t h<sup>-1</sup> em cana-de-açúcar sem queima prévia, com produtividade agrícola de 87 t ha<sup>-1</sup>, utilizando velocidade de deslocamento de 4,6 km h<sup>-1</sup>. Os autores apresentaram dados de perdas visíveis de matéria-prima de 4,5%, matéria estranha mineral de 0,7% e matéria estranha vegetal de 8%. A partir de dados de colheita mecanizada de diversas usinas, os autores verificaram que a partir do desenvolvimento tecnológico e da sistematização dos talhões, as colhedoras de

cana-de-açúcar conseguem uma capacidade efetiva média de  $60 \text{ t h}^{-1}$ , com perdas totais no campo variando de  $3 \text{ a } 6 \text{ t ha}^{-1}$  (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”, 167 kW e a colhedora “B”, 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, 58, 93 e  $141 \text{ t h}^{-1}$  para a colhedora “A” e de 30, 54, 102 e  $131 \text{ t h}^{-1}$  para colhedora “B”. 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.

Ripoli et al. (2001) avaliaram o desempenho de uma colhedora de rodado de esteira em um canavial de terceiro corte, porte ereto, produtividade de  $176 \text{ t ha}^{-1}$  e previamente sistematizado para a colheita mecânica com quatro velocidades de deslocamento: 1,5, 3,0, 5,0 e  $7,0 \text{ km h}^{-1}$ . Os resultados mostraram, para estas condições, que não houve influência da velocidade de deslocamento sobre as perdas totais de matéria-prima, índice de matéria estranha total e qualidade tecnológica da matéria-prima.

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

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 e  $7,0 \text{ km h}^{-1}$ , em um canavial de primeiro corte, com produtividade média de  $100 \text{ t ha}^{-1}$ . O autor concluiu que a capacidade de colheita efetiva bruta das três colhedoras não apresentaram diferenças estatisticamente significativas na velocidade  $5,0 \text{ km h}^{-1}$ , com valores entre 80 e  $90 \text{ t h}^{-1}$ .

Giachini (2012), ao estudar as capacidades de campo ( $\text{ha h}^{-1}$ ) efetiva e operacional, o rendimento operacional (%) e o rendimento agrícola ( $\text{t h}^{-1}$ ) de uma colhedora de cana-de-açúcar durante três turnos de trabalho, concluiu que o turno A apresenta os melhores resultados em todos os fatores, ou seja, houve melhor aproveitamento das horas disponíveis da colhedora para que fosse efetuada a colheita.

Nery (2000) avaliou o consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar em quatro diferentes velocidades de operação e verificou aumento do consumo horário e redução do consumo por tonelada quando houve aumento da velocidade.

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  $1,5 \text{ km h}^{-1}$  e maior consumo na velocidade de  $7 \text{ km h}^{-1}$ . Enquanto que o consumo de combustível em litros por tonelada colhida, ocorreu o inverso. Segundo o autor, as baixas velocidades e eficiências 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.

Lyra (2012) avaliou o consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em canaviais com produtividade de  $37 \text{ t ha}^{-1}$  e  $102 \text{ t ha}^{-1}$ , em função de diferentes rotações do motor da colhedora e velocidades de deslocamento. O autor concluiu que em canal 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 canal, independente da faixa de velocidade utilizada, o consumo horário de combustível foi menor quando utilizada a menor rotação do motor.

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

## **2.7 Qualidade da matéria-prima colhida**

A colheita mecanizada frente à colheita manual apresenta inconvenientes como o aumento de matéria estranha no material colhido, reduzindo a qualidade do mesmo (REIS, 2009).

Matéria estranha ou impurezas é tudo que acompanha a matéria-prima que não seja colmos ou rebolos de colmos maduros. A quantidade de matéria-estranha depende das condições de cultivo (comprimento dos colmos, idade e desenvolvimento), da variedade de cana-de-açúcar, da qualidade da limpeza, do tipo e da umidade do solo, da altura do corte basal, da eretibilidade dos colmos, da produtividade agrícola e do tipo de máquina empregada (STUPIELLO; FERNANDES, 1984).

Sendo assim, a matéria estranha que naturalmente está presente na matéria-prima colhida foi classificada como sendo constituída por material vegetal (palhas, ponteiros, folhas, brotos imaturos, raízes, etc.) ou material mineral (solo solto e aderido às raízes, pedras, etc.) (SILVA, 2003). O mesmo autor afirma ainda que a qualidade tecnológica da matéria prima é caracterizada por padrões de qualidade que são buscados durante o cultivo até o momento da colheita (Brix, mínimo de 18%; Pol entre 14,4 e 15,3%; e pureza entre 80 e 85%), sendo 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.

Para Ridge (1980), as alterações nas práticas culturais necessárias na época, como no preparo do solo, plantio, largura entre fileiras ou mudanças no projeto do disco cortador basal eram as maneiras de minimizar a presença de solo na matéria-prima. Segundo o autor a ação de corte e movimentação de solo das sapatas dos divisores de linhas, o excessivo ângulo do rolo tombador e o contato do cortador basal com o solo quando o corte era realizado abaixo do nível do solo eram os principais fatores que contribuíam para o alto nível de solo na matéria-prima.

Segundo Volpato (2001), quando as lâminas dos discos de corte de base trabalhavam em contato excessivo ou sob a superfície do solo, além de arrancar o sistema radicular de soqueiras e carregá-los com a cana-de-açúcar, resultava em excessiva impureza mineral, reduzindo a qualidade tecnológica da matéria-prima colhida e do contrário, deixavam um toco muito alto, resultando em perda de matéria-prima.

Para Magalhães e Braunbeck (1998), as perdas de matéria-prima podiam chegar, em certos casos, a mais de 10% e o recolhimento de solo pela colhedora sendo da ordem de 3 a 5 kg t<sup>-1</sup> de matéria-prima colhida. Esta presença de impurezas na cana-de-açúcar a ser moída não apenas onera os custos de transporte e manutenção dos



equipamentos industriais, como também reduz a eficiência de moagem e extração de sacarose (VOLPATO, 2001; NEVES, 2003).

Ao longo dos anos buscou-se a melhoria da qualidade do corte e da matéria-prima por meio de intervenções tanto na colheita em si, como nas outras práticas culturais (preparo de solo, plantio, espaçamento entre sulcos) e em mudanças nos projetos das colhedoras, principalmente nos seus sistemas de corte de base e limpeza (SALVI, 2006; MAGALHÃES et al., 2008).

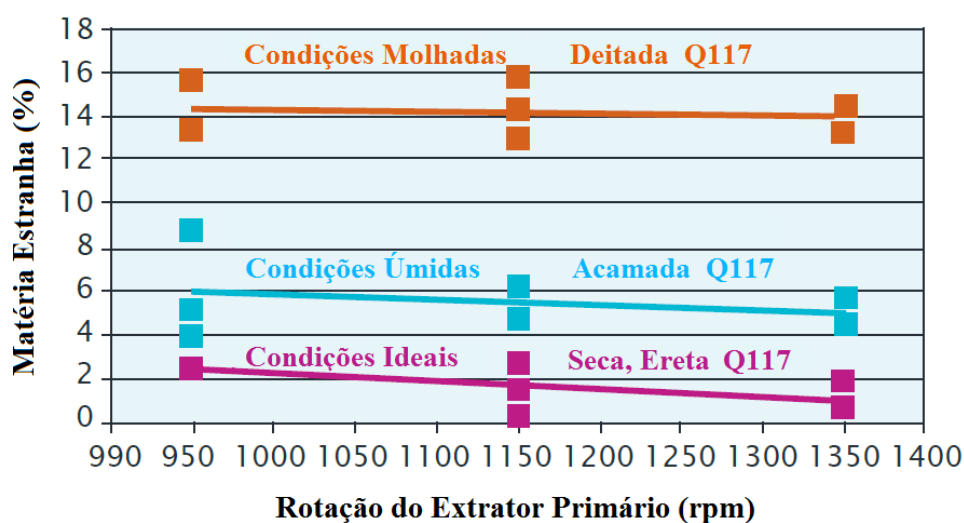
Belardo (2010) realizou interferências operacionais durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar através da alteração na velocidade de trabalho de três colhedoras diferentes, onde avaliou a matéria estranha mineral e vegetal. O autor obteve valores para matéria estranha mineral que variam entre 0,50 a 0,92% ou 0,55 a 1,16 t ha<sup>-1</sup>. Já para a matéria estranha vegetal, foram encontrados valores que variaram entre 5,0 e 7,3% ou 5,5 e 8,8 t ha<sup>-1</sup>. Tanto os valores para matéria estranha mineral, quanto para vegetal não tiveram influência da velocidade de deslocamento, estando ambos concordando com outros valores encontrados na bibliografia.

Conforme Ahmed e Alam-eldin (2015), há uma diferença altamente significativa na quantidade de impurezas entre os sistemas de colheita manual e mecanizada, para os quais a cana para processamento entregue à indústria, apresenta cerca de 4 e 10% de impurezas, respectivamente. Para os autores, a colheita mecanizada apresenta maior densidade de carga no veículo transbordo (10 ton reboque<sup>-1</sup>) em relação à colheita manual (6 ton reboque<sup>-1</sup>). Contudo, a porcentagem de impurezas mencionada acima indica que, para cada reboque carregado com cana-de-açúcar, cerca de 0,95 e 0,25 toneladas de impurezas (matérias estranhas) é transportado para a fábrica pela colheita mecânica e manual, respectivamente.

Ramos et al., (2015) avaliando a qualidade do corte dos rebolos na colheita mecanizada, constataram que o aumento da rotação do motor da colhedora provocou a diminuição do comprimento e da qualidade do corte dos rebolos colhidos, aumentando a porcentagem de danos causados aos rebolos e a variabilidade do seu comprimento. Para os autores, as configurações de regulagem dos mecanismos de limpeza e corte das colhedoras de cana-de-açúcar devem ser modificadas em função da mudança das condições operacionais no momento da colheita para favorecer a qualidade da colheita mecanizada.

Schmidt Junior (2011), avaliando um protótipo de colhedora de cana-de-açúcar, procurou a combinação ideal entre a velocidade de deslocamento e do extrator 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 e 15% e perdas visíveis totais de 0,23 a 0,61 t ha<sup>-1</sup> e 0,29 a 0,82%.

Para Patane e Whiteing (2014), o principal fator da qualidade da cana-de-açúcar são as condições de campo enfrentadas pelas colhedoras. A porcentagem de impurezas vegetais no fornecimento de cana-de-açúcar é determinada por fatores de apresentação da cultura, tais como porte, umidade, facilidade de despalha da variedade e espaçamento entre linhas. Além disso, canaviais deitados e entrelaçados dificultam o recolhimento, o que reduz a eficiência do sistema de limpeza, bem como as condições de umidade fazem com que a palha fique aderida ao colmo, tornando difícil a extração, conforme ilustrado na Figura 8.



**Figura 8.** Impacto das condições do campo e da cultura na presença de matéria estranha (%) junto à carga, adaptado de Patane e Whiteing, 2014.

Ramos et al. (2014), ao avaliarem a qualidade da colheita mecanizada em diferentes velocidades de trabalho e rotações do motor da colhedora, constataram que a mudança de velocidade de 4,0 para 5,5 km h<sup>-1</sup> não foi suficiente para alterar a capacidade de processamento da colhedora e, portanto, não exerceu influência na

presença de impurezas minerais e vegetais, bem como na porcentagem de rebolos na matéria-prima colhida.

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).

Para Magalhães et al. (2008), a cana-de-açúcar com qualidade tecnológica considerada ideal para o processamento industrial deve apresentar colmos maduros, sadios, recém-cortados, livres de impurezas e com o mínimo possível de ocorrência de pragas ou doenças.

## **2.8 Perdas de matéria-prima**

As perdas de matéria-prima na colheita estão no material não colhido (desponte e corte basal), no carregamento (cana deixada no campo), no transporte até a indústria, na evaporação de água do colmo, na deterioração microbiológica ou bioquímica (inversão da sacarose) e na exudação na superfície do colmo (FERNANDES; IRVINE, 1986)

Em todas as etapas da colheita até a saída dos produtos finais da usina ocorrem perdas de açúcar e de matéria-prima, sendo uma parte delas diretamente no corte basal e outras indiretamente, devido à perda de eficiência industrial provocada pelo recolhimento de solo (RIDGE; DICK, 1988).

Conforme Kroes e Harris (1996), a deflexão dos colmos e a deficiência no controle da altura de corte provocam danos na soqueira pelo cortador de base, causando perdas de matéria-prima que é deixada no campo, reduzindo o número de colmos através da destruição ou arranquio das soqueiras.

Outro fator associado às perdas e a contaminação com solo durante a colheita é o acompanhamento inadequado do micro relevo do solo e a varredura ineficiente realizado pelo cortador basal (OLIVEIRA, 2002).

Salvi (2006) afirmou que as perdas de matéria-prima têm relação diretamente proporcional à altura do corte de basal, pois quanto maior a altura do corte, maior será o toco deixado. Para o autor, a dificuldade em controlar a altura do corte de

base pode ocasionar danos às soqueiras, diminuição da população de colmos e qualidade tecnológica da matéria prima. Em contrapartida, Silva et al. (2008) afirmaram que em caso de altura de corte de colmos mais elevada, os pedaços de colmos restantes podem potencializar a rebrota da soqueira e garantir melhor padrão de perfilamento.

Para Mello e Harris (2003), as perdas de cana-de-açúcar, tanto de massa como por deterioração ou a redução na produtividade potencial, são causadas pelos cortadores de base das colhedoras de cana-de-açúcar devido aos danos ocasionados na soqueira, o que ainda pode facilitar o ataque de fungos e doenças.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), a variação na altura de corte, bem como a falta de manutenção das lâminas de corte basal, associada a características varietais do canavial, podem aumentar significativamente a porcentagem de tocos e rebolos rachados e mal cortados, o que pode acarretar em perdas visíveis e invisíveis.

As perdas de cana-de-açúcar foram classificadas por Moraes (1992) como visíveis quando podem ser detectadas visualmente no campo após a colheita, podendo ser colmos inteiros e/ou suas frações, rebolos e tocos resultantes do corte basal, enquanto as perdas invisíveis são na forma de caldo, “serragem” e estilhaços que ocorrem em decorrência da ação dos mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana-de-açúcar durante o processamento interno nas colhedoras, sendo lançados e misturados ao solo, dificultando a sua quantificação no campo. O autor constatou que o extrator primário era o ponto principal de perdas invisíveis, as quais não eram afetadas pelo extrator secundário.

Para Burleigh et al. (1988) as perdas invisíveis raramente eram levadas em consideração na bibliografia publicada por serem consideradas impossíveis de serem quantificadas no campo.

Segundo Molina Júnior et al. (2001), as perdas de rebolos inteiros são provenientes de três pontos de processamento do material colhido, dentro da máquina: picador, sistema de limpeza e elevador, bem como da forma do transbordo.

Benedini et al. (2009), ao quantificar as perdas invisíveis, observaram que essas perdas representam em torno de 2,0 a 5,5% das perdas totais e que, quando causadas pelos picadores, são menores apenas que quando provocadas pelo corte de base. Os autores relataram que as perdas visíveis estão associadas às características da área a ser colhida e também à operação em si da colheita e que a quantificação destas

perdas facilita as correções de falhas operacionais, pois as referentes às características do canavial poderão ser apenas minimizadas, principalmente com a redução da velocidade da colheita. Segundo os autores, tombamento da cana, sistema de caminhamento e aceiro, altura de trabalho do corte de base/corte de ponta, velocidade da colhedora, sincronização colhedora/caminhão, distribuição dos equipamentos na área, cultivo e quebra lombo são fatores que devem ser analisados durante a safra para melhor treinamento e capacitação dos operadores.

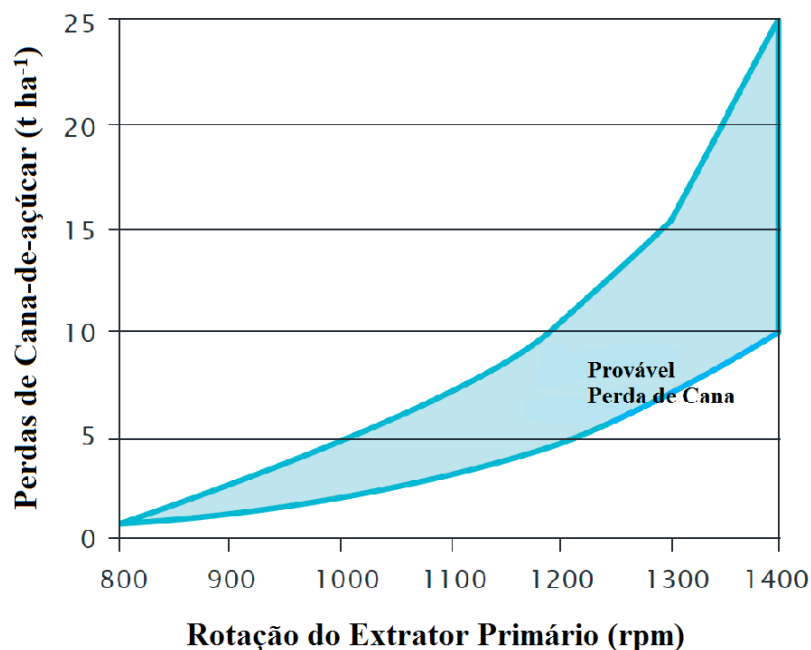
Para diversos autores, a velocidade dos extratores está diretamente relacionada às perdas, pois na tentativa de diminuir a matéria estranha na cana-de-açúcar colhida, o aumento da rotação dos extratores acaba elevando as perdas em níveis economicamente inaceitáveis (YOUNGER, 1980; MORAES, 1992; NEVES et al., 2004).

Segundo Moraes e Neves (1997), 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 e, portanto, o aumento da eficiência de limpeza dos extratores pode ocasionar em maiores perdas de cana-de-açúcar, havendo assim a necessidade de avaliações periódicas das perdas e impurezas para a definição de regulagens adequadas às diferentes condições de colheita.

Existem muitas fontes de perda de cana durante a colheita, incluindo as perdas pelo corte de base, pelo recolhimento e pela picagem dos colmos em rebolos, mas as perdas pelo sistema de limpeza têm o maior impacto financeiro na indústria, custando milhões em receitas perdidas a cada ano (PATANE; WHITEING, 2014). Por isso, os operadores de colhedoras estão enfrentando pressão para reduzir os níveis de matéria estranha e melhorar a densidade de carga dos transbordos, onde numa tentativa de obter essa melhoria mantendo alta a taxa de colheita, optam por aumentar a velocidade do extrator primário. Para os autores, o desenho do sistema de limpeza não manteve o ritmo do desenvolvimento em capacidade que outros sistemas da máquina. Como resultado, a perda de rebolos industrializáveis pelo sistema de limpeza pode ser extrema, atingindo valores entre 10 e 20%. A única verdadeira mudança de design nos sistemas de limpeza nos últimos 20 anos tem sido o aumento do diâmetro do extrator e design mais agressivo das pás, permitindo maiores velocidades.

O resultado é que os modelos atuais dos sistemas de limpeza pode produzir perda excessiva de cana comparada quando se utilizava velocidades dos

extratores mais moderadas, como pode ser observado na Figura 9, que as perdas aumentam substancialmente a partir de rotações do extrator primário acima de 1000 rpm.



**Figura 9.** Provável perda de cana-de-açúcar ( $t\ ha^{-1}$ ) em função do aumento da rotação do extrator primário (Adaptado de PATANE; WHITEING, 2014).

A otimização do sistema de alimentação, onde a velocidade de rolos alimentadores é sincronizada com a rotação do rolo picador, reduz a perda de caldo quando a cana é cortada em rebolos, isso também melhora a capacidade de alimentação e produz um fluxo mais uniforme de material através das lâminas do rolo picador e da câmara de limpeza (extrator primário), conseqüentemente, as perdas de caldo e frações de rebolo são reduzidas no rolo picador e extrator primário, aumentando a eficiência do sistema (SCHROEDER et al., 2009a).

O ajuste do comprimento dos rebolos ocorre pela variação da velocidade dos rolos alimentadores e ao fazê-lo, o controle varia a velocidade de rotação destes rolos em relação ao rolo picador, alterando o comprimento dos rebolos, podendo reduzir sua qualidade por aumentar as perdas pelo corte (PATANE; WHITEING, 2014).

De acordo com avaliações realizadas pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), o sistema de colheita mecanizada perde em torno de 10% de matéria-

prima no campo, o que representa prejuízos em torno de US\$ 450 milhões por ano (MAGALHÃES et al., 2006).

Santos (2011) constatou que para baixas velocidades de operação, 1 km h<sup>-1</sup>, o custo atingiu 34,80 R\$ t<sup>-1</sup> para a colhedora operando com perdas e 34,51 R\$ t<sup>-1</sup> sem perdas, sendo ambos os valores praticamente iguais e as perdas nessa velocidade equivalentes a 0,81%. Já com o aumento da velocidade, as perdas aumentam linearmente, mas o custo decresce, devido à maior capacidade operacional obtida, pois numa velocidade de 7 km h<sup>-1</sup>, as perdas previstas representaram 5,87% e a diferença entre o custo operacional, com e sem perdas, é de 0,31 R\$ t<sup>-1</sup>.

Carvalho Filho (2000) afirmou que a velocidade de deslocamento da colhedora é um dos principais fatores que influenciavam o nível de perdas no campo, enquanto Neves et al. (2006) consideram que os altos índices de perdas de matéria-prima, ou a baixa eficiência de limpeza não estão associados 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.

Santos (2011), por meio de revisão bibliográfica, observou que não existem muitos trabalhos de perdas em função da velocidade de operação de colhedoras e que uma das possíveis causas que se apresenta para esse fato pode estar relacionada à dificuldade de se obter as equações de perdas devido à variabilidade da produtividade de cana existente dentro de cada talhão. Contudo, Ramos et al. (2014) avaliaram a qualidade da colheita mecanizada em diferentes velocidades de trabalho e rotações do motor da colhedora, constando que o aumento da velocidade ocasionou em acréscimo nas perdas.

Magalhães et al. (2008) desenvolveram um sistema de sincronismo de velocidade, com a finalidade de controlar a colhedora e o transbordo, a fim de evitar perdas, aumentar a capacidade operacional e melhorar a eficiência de campo do conjunto mecanizado, chegando a conclusões que com o sistema de sincronismo ativado, as perdas de cana-de-açúcar diminuíram em torno de 0,6 t ha<sup>-1</sup>, o equivalente a 8,16%, na redução de perdas de rebolos, quando comparado ao sistema de sincronismo desativado.

Noronha et al. (2011) avaliaram as perdas durante a colheita em turno diurno e noturno e comprovaram que a colheita noturna podem apresenta aumento de

até 20% de perdas e que além dos maiores percentuais de perdas, os autores observaram que houve também maior variabilidade nas perdas totais durante a colheita noturna.

Giachini (2012), avaliando o desempenho de uma colhedora em diferentes turnos de trabalho, encontrou menores perdas durante o turno A (08h01 às 16h00), afirmando que as perdas aumentaram no turno B (16h01 às 00h00) e foram maiores ainda no turno C (00h01 às 08h00), sendo quantificadas em 0,92, 1,6 e 2,27 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Silva et al. (2008) avaliaram a qualidade da colheita mecanizada considerando as perdas e concluíram que os indicativos de perdas da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, não estavam sob controle estatístico de processo.



### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Descrição do Experimento**

O experimento consistiu na aplicação de uma metodologia para determinação do índice de colheitabilidade para áreas cultivadas com cana-de-açúcar, ou seja, determinar o estado em que o talhão ou canavial se apresenta no momento da colheita a partir da avaliação das características de diversos fatores que influenciam a qualidade e o rendimento da colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Para a validação da metodologia, foi avaliado o desempenho operacional e a qualidade da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, utilizando diferentes configurações de trabalho com relação à velocidade de deslocamento e rotações do extrator primário das colhedoras, em diferentes talhões e com 4 colhedoras.

Foram realizados dois ensaios em delineamento em faixas, onde cada tratamento representou a colheita de uma parcela experimental. Para cada ensaio foi utilizada uma velocidade padrão de trabalho das colhedoras, sendo esta em função da recomendação por parte da Usina onde o ensaio foi realizado e, além desta, foi utilizada a velocidade máxima alcançada por cada colhedora durante os tratamentos, sendo esta variável em função das características do local e da capacidade de cada máquina.

Como possibilidades de ajuste da rotação do extrator primário, foi utilizada uma rotação “Baixa”, correspondente a 75% da máxima rotação do extrator primário disponível por cada máquina; uma “Intermediária”, correspondente a 85% da máxima e uma “Alta” correspondente a 95% da máxima rotação do extrator primário.

O ensaio 1 foi realizado utilizando-se as colhedoras A e B, três rotações do extrator primário (Baixa, Intermediária e Alta), duas áreas com produtividade agrícola distintas (Baixa e Alta) e duas velocidades de trabalho (Padrão utilizada pela Usina de 4,0 km h<sup>-1</sup> e máxima alcançada), constituindo-se 24 tratamentos ou parcelas experimentais. O ensaio 2 foi realizado utilizando-se as colhedoras C e D, três rotações do extrator primário (Baixa, Intermediária e Alta), duas áreas com produtividade agrícola distintas (Baixa e Alta) e duas velocidades de trabalho (Padrão utilizada pela Usina de 5,0 km h<sup>-1</sup> e máxima alcançada), constituindo-se 24 tratamentos ou parcelas experimentais.

Para estimar os resultados de desempenho operacional e qualidade da colheita foi calculado o intervalo de confiança a 95% de probabilidade (IC95%), permitindo a comparação dos fatores de desempenho e qualidade.

### 3.2 Colhedoras utilizadas

Foram utilizadas quatro colhedoras com diferentes características apresentadas na Tabela 1. O operador responsável pela colheita em todas as áreas e com todas as colhedoras foi o mesmo durante todo o experimento.

Durante o experimento, as colhedoras que possuíam software de controle automático de variação da rotação do motor em função da necessidade de potência tiveram este dispositivo desligado com a finalidade de fornecer a máxima potência, excluindo o fator “necessidade de potência” das variações de desempenho.

**Tabela 1.** Colhedoras utilizadas no experimento.

Colhedora*	A	B	C	D
Ano de fabricação	2014	2012	2014	2015
Potência do Motor (kW)	251	263	251	251
Rotação Nominal (rpm)	2200	2100	2200	2200
Extrator Primário (rpm)	1300	1100	1300	1100
Controle Eletrônico Corte de Base	CICB	Auto tracker	CICB	CICB
Rodados	Esteiras	Esteiras	Esteiras	Esteiras
Velocidade Máxima (km h <sup>-1</sup> )	9,0	9,0	9,0	9,0
Peso (kg)	19.050	18.300	19.050	Indisponível

\*A utilização destas colhedoras não indica recomendações de uso por parte do autor.

A utilização de diferentes tipos, marcas e modelos de colhedoras durante o ensaio não teve por objetivo comparar o desempenho entre as colhedoras, mas de aplicar e avaliar a metodologia para determinação do índice de colheitabilidade independentemente da máquina a ser utilizada, partindo-se do princípio que o método poderá ser utilizado em qualquer condição de ambiente, local ou equipamento.

### 3.3 Descrição das Áreas

Os ensaios foram realizados em talhões cultivados com cana-de-açúcar pertencentes a Usinas no estado de São Paulo e Goiás. As características das áreas onde foi realizada a colheita foram pré-determinadas em função da sua produtividade agrícola, tendo por objetivo obter o máximo de variação destas condições com a finalidade de validar a metodologia do índice de colheitabilidade para diferentes condições, portanto para cada ensaio, em São Paulo e em Goiás, buscaram-se duas áreas com características diferentes e bem definidas. O espaçamento utilizado entre fileiras foi de 1,5 m em todos os talhões e a colheita ocorreu sem queima prévia do canavial.

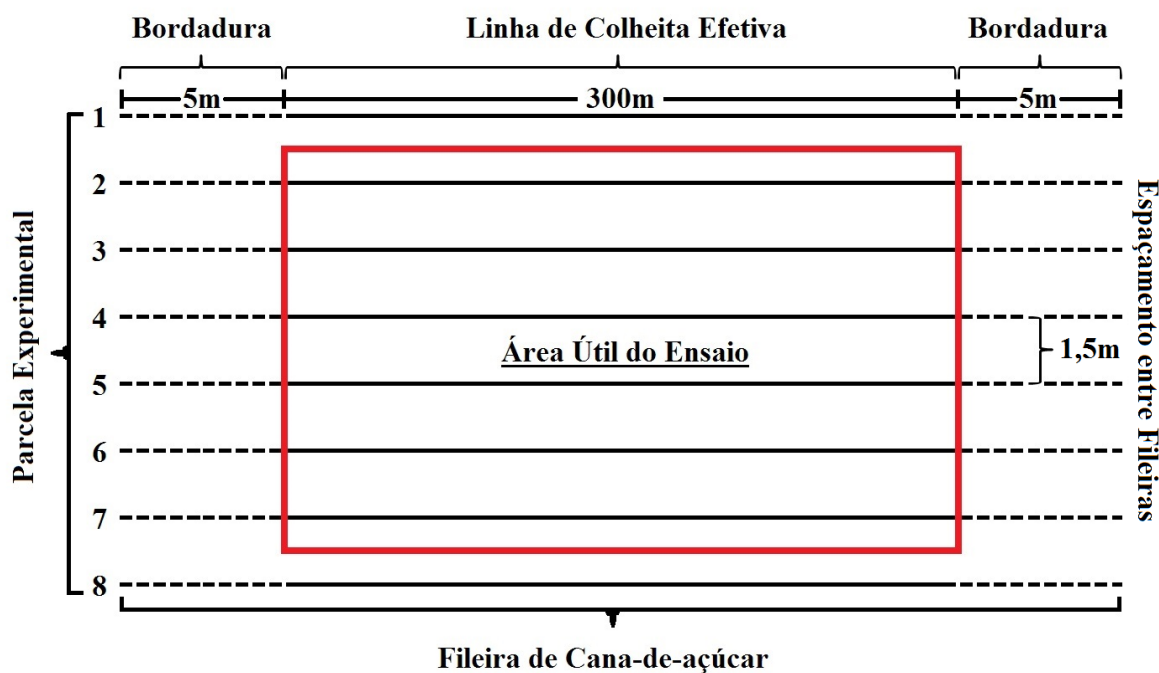
**Tabela 2.** Características das áreas.

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Latitude Sul	20°40'21"	20°47'4"	17°56'18"	17°52'39"
Longitude Oeste	47°24'32"	47°40'60"	49°12'42"	49°17'40"
Altitude (m)	980	760	852	863
Declividade (%)	2 - 5	4 - 9	3	3
Produtividade Estimada (t ha <sup>-1</sup> )	70	100	80	120
Variedade	RB867515	IAC-SP 95 5000	RB835486	IAC-SP 91 1099
Idade (Nº de Cortes)	5	2	7	2
Tipo de Solo	Latossolo vermelho- amarelo distrófico	Latossolo vermelho distrófico	Latossolo vermelho	Latossolo vermelho
Textura	Média/Argilosa	Argilosa	Argilosa	Argilosa

### 3.4 Área Experimental

Cada parcela experimental compreendeu a colheita de 8 fileiras de cana-de-açúcar (cada repetição representou a colheita de uma fileira de plantas) com comprimento de colheita efetiva de aproximadamente 300 metros, mensurado através de um aparelho GPS da marca Garmin, modelo GPSmap 60CSx, com precisão de posição de 4 metros.

Para excluir o efeito bordadura, antes de iniciar a colheita de cada fileira, colheu-se 5 metros das extremidades iniciais e finais de todas as fileiras, descartando-se o material colhido das bordaduras e desconsiderou-se os resultados das fileiras 1 e 8, portanto as demais avaliações foram realizadas no espaço (área útil do ensaio) compreendido entre as fileiras 2 e 7 como ilustrado na Figura 10.



**Figura 10.** Representação gráfica da parcela experimental.

### 3.5 Metodologia para Determinação do Índice de Colheabilidade

Para identificar o estado em que cada canavial se encontrava, foram analisados diversos fatores que influenciam na qualidade da operação durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar, como porte e produtividade do canavial, alinhamento do

espaçamento entre fileiras de plantio, posição da base das plantas de cana-de-açúcar em relação ao nível do solo, declividade da área e a sistematização e nivelamento do terreno.

Para a composição do índice de colheitabilidade de cada parcela a ser colhida, foi atribuída uma nota para cada um dos fatores, a qual variou de 1 a 5, onde a menor nota indicava a pior condição e a maior nota indicava a melhor condição relativa a cada fator.

Foi realizada análise de componentes principais para selecionar os fatores de maior variabilidade, portanto maior representatividade no índice de colheitabilidade em função dos resultados obtidos nos dois ensaios e calcular os pesos para cada fator que compõe o índice de colheitabilidade.

O índice de colheitabilidade resultante para cada área foi atribuído através do cálculo realizado pela Equação 1:

$$ICO = \frac{F1 * P1 + F2 * P2 + \dots + Fn * Pn}{P1 + P2 + Pn} \quad 1)$$

Em que:

ICO = Índice de Colheitabilidade;

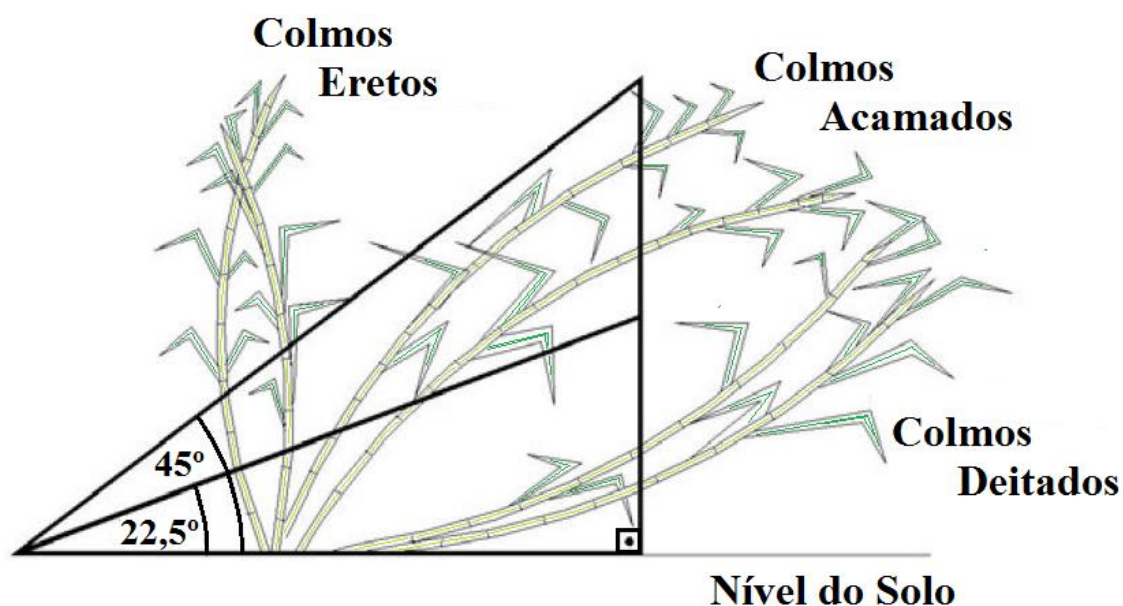
F = Fator de influência;

P = Peso atribuído ao respectivo fator;

### 3.5.1 Porte do Canavial (F1)

O porte do canavial foi caracterizado segundo a metodologia proposta por Ripoli et al. (1977), em que considerou-se a posição relativa dos colmos em relação ao nível do solo, sendo classificados colmos eretos (acima de 45°), acamados (22,5 a 44°) e deitados (abaixo de 22,5°), conforme ilustrado na Figura 12.

Em cada parcela foram realizadas 4 repetições ao acaso e em diferentes fileiras de cana-de-açúcar dentro da área útil do ensaio, anotado o número de colmos presentes em cada condição e contidos na distância abrangida pela base do triângulo disposto longitudinalmente na fileira de plantio.



**Figura 11.** Triângulo retângulo utilizado para determinação do porte do canavial adaptado de Ripoli et al. (1977).

As notas atribuídas às parcelas em função das condições encontradas durante o experimento seguiram os critérios apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Critérios para a atribuição da nota para o fator Porte do Canavial.

PORTE	AVALIAÇÃO	NOTA
Plantas predominantemente Deitadas	MUITO RUIM	1
Plantas Acamadas e Deitadas	RUIM	2
Plantas predominantemente Acamadas	REGULAR	3
Plantas Acamadas e Eretas	BOM	4
Plantas predominantemente Eretas	ÓTIMO	5

### 3.5.2 Produtividade Estimada do Canavial (F2)

A produtividade agrícola do canavial tem relação direta com o rendimento da colhedora e sabe-se que à medida que aumenta a massa vegetal a ser processada, a velocidade de trabalho precisa ser reduzida para evitar embuchamentos. Contudo, maior produtividade impacta no custo de produção por melhorar o rendimento operacional. Portanto, os critérios seguidos para caracterização das parcelas experimentais quanto à sua produtividade agrícola estão apresentados na Tabela 4.

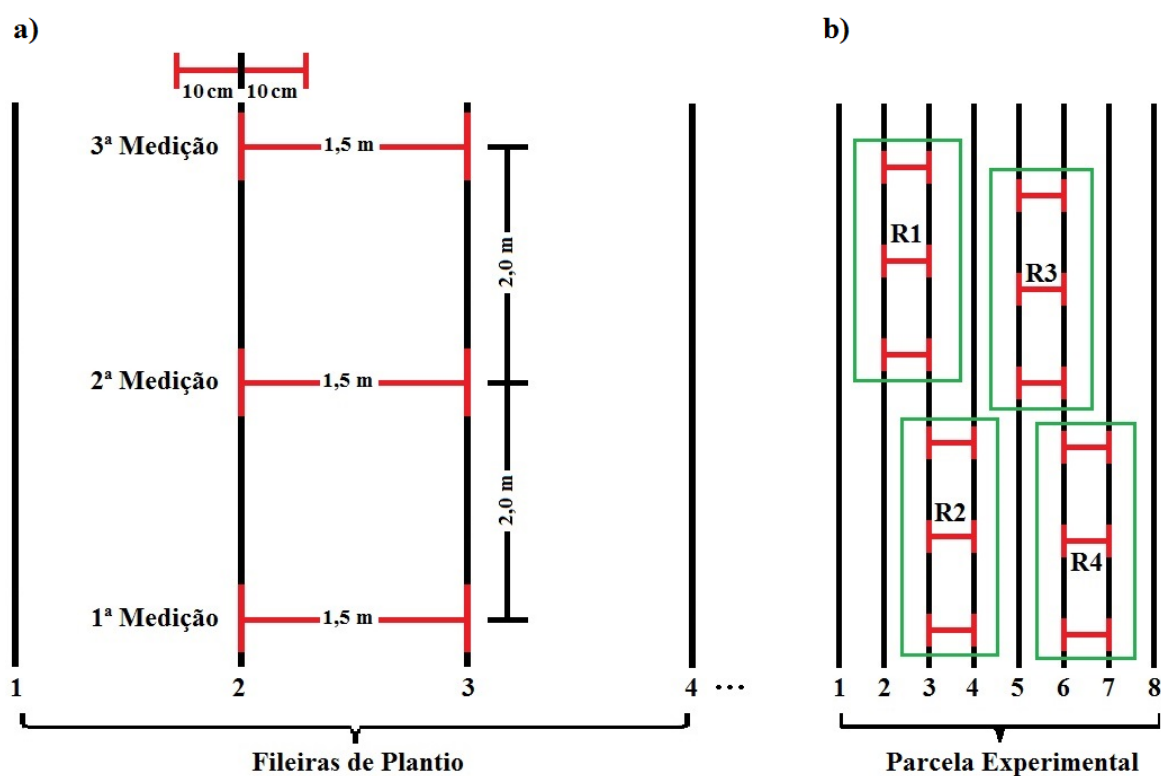
**Tabela 4.** Critérios para a atribuição da nota para o fator Produtividade do Canavial quando o parâmetro desejado é o rendimento operacional.

PRODUTIVIDADE	AVALIAÇÃO	NOTA
Muito Baixa (< 50 t/ha)	MUITO RUIM	1
Baixa (51 – 70 t/ha)	RUIM	2
Média (71 – 90 t/ha)	REGULAR	3
Alta (91 – 110 t/ha)	BOM	4
Muito Alta (> 110 t/ha)	ÓTIMO	5

### 3.5.3 Alinhamento entre Fileiras (F3)

O paralelismo entre as fileiras foi avaliado medindo-se o comprimento entre as mesmas em função do espaçamento estabelecido, que no caso deste experimento foi de 1,5 m em todas as parcelas experimentais. Em cada repetição foram realizadas três medições do espaçamento a partir do centro de cada linha de plantio, em uma distância de 2 metros entre si no sentido da linha de plantio, conforme a Figura 13a.

Em cada parcela experimental foram realizadas 4 repetições aleatoriamente na área útil do experimento, conforme ilustrado na Figura 13b.



**Figura 12.** Representação gráfica do método de medição do alinhamento entre fileiras.

Devido à característica de perfilhamento da cana-de-açúcar, sabe-se que com o passar dos ciclos, as soqueiras podem apresentar pequenos desvios da linha original, portanto foi considerada uma medição do espaçamento igual a padrão aquela que apresentasse no máximo 5 cm de diferença para mais ou para menos. Além disso, foi considerada uma margem máxima para mais ou para menos de 10 cm de diferença para o espaçamento padrão que caracterizou a qualidade do paralelismo. Para avaliação da qualidade do paralelismo foi utilizado o seguinte critério:

- Nenhuma medição na margem limite: Três medições fora da margem de 10 cm.
- Nenhuma medição igual a padrão: Três medições dentro da margem de 10 cm.
- Uma medição igual a padrão: Uma medição igual ou dentro da margem de 5 cm e duas medições dentro da margem de 10 cm.
- Duas medições iguais a padrão: Duas medições iguais ou dentro da margem de 5 cm e uma medição dentro da margem de 10 cm.
- Três medições iguais a padrão: Todas estão dentro da margem de 5 cm.

Os critérios seguidos para caracterização das parcelas experimentais quanto ao paralelismo entre as fileiras estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Critérios para a atribuição da nota para o fator alinhamento entre fileiras.

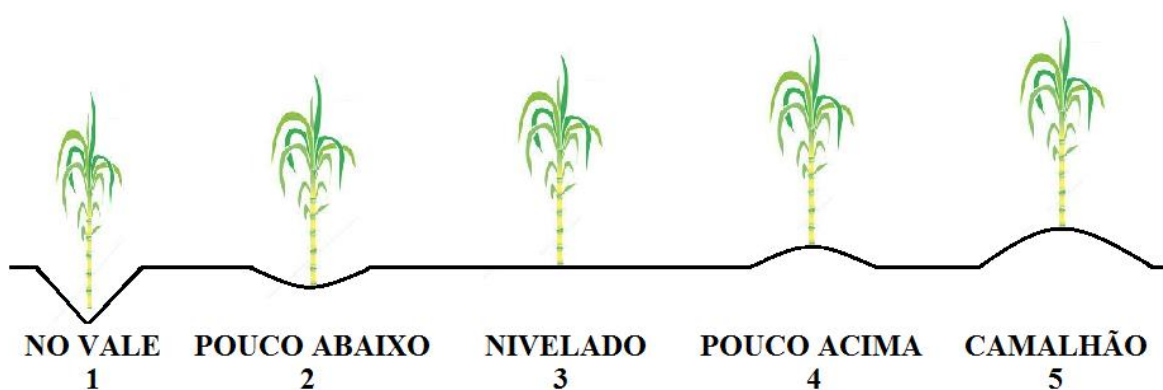
PARALELISMO	AVALIAÇÃO	NOTA
Nenhuma medição na margem limite	MUITO RUIM	1
Nenhuma medição igual a padrão	RUIM	2
1 medição igual a padrão, 2 medições na margem	REGULAR	3
2 medições iguais a padrão, 1 medição na margem	BOM	4
3 medições iguais a padrão	ÓTIMO	5

#### 3.5.4 Posição da touceira em relação ao nível do solo (F4)

O posicionamento da base da planta de cana-de-açúcar em relação ao nível do solo pode ter influencia na qualidade do corte basal realizado pelos discos de corte das colhedoras devido ao contato destes com o solo, causando danos às soqueiras e aumento da quantidade de solo levado junto à matéria-prima colhida. Portanto para analisar o posicionamento da soqueira foram considerados os seguintes critérios:



- No vale “Efeito Vulcão”: Tipicamente encontrado em canaviais de primeiro ciclo (cana planta), onde foi realizado quebra lombo.
- Pouco abaixo: A soqueira ainda encontra-se abaixo do nível das entrelinhas, porém sem apresentar “efeito vulcão”.
- Nivelado ao terreno: A soqueira encontra-se no mesmo nível das entrelinhas.
- Pouco acima: A soqueira encontra-se levemente acima do nível das entrelinhas.
- Em camalhão: Soqueira acima da superfície do solo, perfeitamente canteirizada.



**Figura 13.** Representação gráfica das características do posicionamento das touceiras.

Os critérios seguidos para caracterização das parcelas experimentais quanto ao posicionamento das soqueiras com relação ao nível do solo estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Critérios para a atribuição da nota para o fator Posição da touceira.

POSIÇÃO	AVALIAÇÃO	NOTA
No Vale	MUITO RUIM	1
Pouco Abaixo	RUIM	2
Nivelado ao Terreno	REGULAR	3
Pouco Acima	BOM	4
Em Camalhão	ÓTIMO	5

### 3.5.5 Declividade do Terreno (F5)

A declividade do terreno é um dos fatores limitantes ao rendimento da colhedora, pois quanto maior a declividade do talhão, maior a dificuldade do operador em manter a colhedora alinhada ao transbordo e à linha de colheita, principalmente quando há tortuosidade nas linhas, falta de nivelamento do solo e a sulcação é em nível. Os critérios seguidos para caracterização das parcelas experimentais quanto ao posicionamento das soqueiras com relação ao nível do solo estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Critérios para a atribuição da nota para o fator Declividade do Solo.

DECLIVIDADE	AVALIAÇÃO	NOTA
Acima do Limite Máximo Recomendado ( $12^{\circ}$ )	MUITO RUIM	1
Inclinação Alta (9,1 a $12^{\circ}$ )	RUIM	2
Inclinação Média (6,1 a $9^{\circ}$ )	REGULAR	3
Inclinação Baixa (3,1 a $6^{\circ}$ )	BOM	4
Plano (0 a $3^{\circ}$ )	ÓTIMO	5

### 3.5.6 Sistematização e Nivelamento do Terreno (F6)

Para analisar a sistematização e o nivelamento do solo nas parcelas foram considerados os critérios apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Critérios para a atribuição da nota para o fator sistematização e nivelamento do Terreno.

CONDIÇÃO DO TERRENO	AVALIAÇÃO	NOTA
Sulcação em nível, linhas mortas, tortuosidade, entre linhas desniveladas, fortes ondulações, buracos, pedras, tocos.	MUITO RUIM	1
Sulcação em nível, linhas mortas, terraços passantes, entre linhas desniveladas, fortes ondulações e depressões.	RUIM	2
Sulcação reta, terraços passantes, entre linhas desniveladas, poucas ondulações e depressões.	REGULAR	3
Sulcação reta, entre linhas niveladas, ausência de terraços passantes, poucas ondulações e depressões	BOM	4
Sulcação reta, entre linhas niveladas, ausência de terraços passantes, sem ondulações e sem depressões	ÓTIMO	5

### 3.6 Ensaio Padrão

Para cada tratamento aplicado, foi seguida uma sequência de avaliações de qualidade da colheita e desempenho efetivo da colhedora, portanto, cada tratamento iniciou-se com a colhedora realizando a colheita da primeira fileira de colheita efetiva, ou seja, percorrendo os 300 metros lineares, colhendo e processando a cana-de-açúcar e preenchendo o respectivo transbordo que a acompanhou.

Após a colheita, o transbordo deslocava-se para uma área reservada fora do talhão, onde havia balanças para a pesagem do transbordo (Este transbordo já havia sido pesado antes da colheita da fileira, com a finalidade de obtenção do seu peso sem cana-de-açúcar). Enquanto isso, outro veículo transbordo alinhava-se à colhedora para acompanhá-la durante a colheita da fileira subsequente.

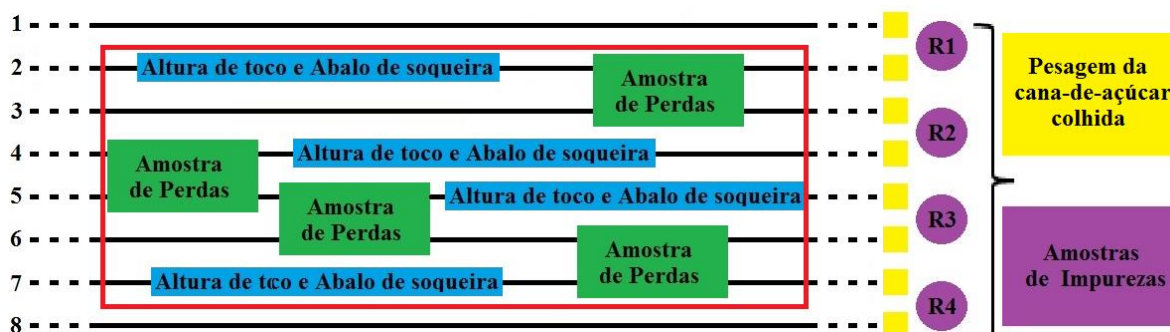
Ao final da pesagem dos transbordos eram retiradas as amostras para determinação da qualidade da matéria-prima colhida (impurezas) que estavam contidas em tambores distribuídos dentro dos transbordos.

Durante o ensaio, imediatamente após a passagem da colhedora em linha sorteada aleatoriamente, a equipe de avaliação de altura de toco e abalo de soqueira realizou o procedimento para esta análise conforme a metodologia que foi descrita no tópico 3.9.2.

Este ciclo de colheita, pesagem dos transbordos e coleta das amostras de qualidade de colheita se repetiu até o término da colheita das oito fileiras que compunham uma parcela experimental completa.

Portanto, as avaliações de quantidade de cana-de-açúcar colhida, altura de toco e abalo de soqueira e a retirada das amostras de matéria-prima foram realizadas paralelamente à realização da colheita das fileiras em cada parcela experimental. Enquanto as amostragens para determinação das perdas de matéria-prima foram realizadas aleatoriamente dentro da área útil do ensaio após o término da colheita da parcela.

Excetuando-se a pesagem da cana-de-açúcar colhida que foi realizada para as fileiras de 2 a 7 (6 repetições), para as demais avaliações foram realizadas 4 repetições dentro da área útil do ensaio, conforme ilustrado na Figura 14, contudo a sequência das repetições não seguiu necessariamente a ordem apresentada.



**Figura 14.** Representação gráfica do esquema de distribuição das avaliações de desempenho e qualidade da colheita mecanizada.

### 3.7 Determinação da produtividade agrícola das parcelas experimentais

Para pesagem do veículo transbordo foram utilizados dois modelos de balanças (Figura 15a) que possuíam interface para comunicação direta com computador (Figura 15b), sendo uma da marca Toledo, possuindo quatro plataformas de pesagem, com capacidade máxima de 5 toneladas por plataforma, para pesagem do eixo traseiro do veículo transbordo (Figura 15c) e outra da marca Dinamica Generale, modelo Dina 3, que possuía duas plataformas de pesagem, com capacidade máxima para leitura de 20 toneladas, a qual foi utilizada para o eixo dianteiro (Figura 15d).



**Figura 15.** Balanças para pesagem do transbordo.

A quantidade de matéria-prima colhida em cada repetição (fileiras de colheita efetiva) foi determinada através do cálculo entre a diferença de peso do veículo transbordo vazio, com a pesagem realizada antes da colheita e depois da colheita de cada fileira, com o mesmo preenchido com a cana-de-açúcar das fileiras, obtendo-se, portanto, a produtividade agrícola de cada parcela experimental.

### 3.8 Determinação da velocidade de deslocamento

A mensuração da velocidade de deslocamento foi realizada através do cálculo entre a distância percorrida na fileira de colheita e tempo gasto durante este percurso, conforme a Equação 2:

$$Vel = \frac{L}{\Delta t} \cdot 3,6 \quad (2)$$

Em que:

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

$L$  = comprimento da fileira de colheita (m);

$\Delta t$  = tempo gasto durante o percurso da fileira de colheita (s);

3,6 = fator de conversão.

### 3.9 Avaliações de desempenho operacional

#### 3.9.1 Capacidade de colheita efetiva

A capacidade de colheita efetiva é a quantidade de cana-de-açúcar colhida e processada lançada no veículo transbordo por unidade de tempo, desconsiderando-se as perdas e as impurezas contidas na carga recolhida (RIPOLI; RIPOLI, 2009), sendo calculada através da Equação 3:

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

Em que:

$CE$  - capacidade efetiva de cana-de-açúcar colhida ( $\text{t h}^{-1}$ );

W - massa de cana-de-açúcar colhida na parcela (kg);

T - tempo gasto para percorrer a parcela na qual se recolheu a massa W (s);

3,6 - fator de conversão.

### 3.9.2 Consumo de combustível horário

Para avaliação do consumo de combustível das colhedoras, foram utilizados dois medidores de volume tipo fluxômetro da marca Oval, modelo LSF45 com capacidade máxima de leitura  $500 \text{ L h}^{-1}$ , sendo um instalado no sistema de alimentação de combustível entre o tanque e o motor e outro no retorno para o tanque.

Para aquisição dos dados foi utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP) pertencente ao Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA-UNESP) campus de Botucatu-SP, 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. 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.

O consumo horário de combustível foi obtido através cálculo conforme a Equação 4:

$$CCh = \frac{\sum (p_e - p_s) \cdot 3,6}{\Delta t} \quad (4)$$

Em que:

CCh - consumo horário de combustível ( $\text{L h}^{-1}$ );

$\Sigma(p_e - p_s)$  - diferença entre os somatórios de pulsos dos fluxômetros, equivalente a mL de combustível gasto, de entrada e de retorno do motor;

$\Delta t$  - tempo gasto (s);

3,6 - fator de conversão.

### 3.9.3 Consumo de combustível por tonelada

O consumo por tonelada colhida foi obtido através da relação entre a quantidade de combustível que foi consumido pela colhedora em função da quantidade de cana-de-açúcar colhida, sendo calculado conforme a Equação 5:

$$C_t = \frac{CCh}{CE} \quad (5)$$

Em que:

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

$CCh$  - Consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ );

$CE$  - Capacidade de colheita efetiva ( $t h^{-1}$ ).

### 3.10 Avaliações de qualidade da colheita mecanizada

#### 3.10.1 Quantidade de impurezas na matéria-prima colhida

Para a amostragem e avaliação da qualidade de matéria-prima foram distribuídos tambores dentro do veículo transbordo (Figura 16a) e ao final da colheita e pesagem da cana-de-açúcar colhida na respectiva repetição, estes foram retirados através do içamento realizado por um veículo que serviu de guindaste (Figura 16b) e o material presente nos tambores foi ensacado para ser separado posteriormente (Figura 16c). Para análise da qualidade da matéria-prima colhida foram realizadas 4 repetições para cada tratamento.



**Figura 16.** Coleta das amostras para análise de qualidade da matéria-prima.



### 3.10.1.1 Classificação das impurezas encontradas na matéria-prima

A impureza mineral é considerada uma composição de solo e pedregulhos levados junto ao material colhido cujo sistema de limpeza das colhedoras não é capaz de separar, podendo causar danos por desgaste dos componentes da indústria, bem como alterar a qualidade do açúcar.

As impurezas vegetais são consideradas todo material proveniente das plantas, que não sejam colmos industrializáveis, levado junto aos rebolos colhidos no transbordo, sendo composta por palha, folhas verdes e secas, ponteiros e raízes.

Para obter a quantidade de impureza mineral presente na matéria-prima, as amostras de material colhido (palha, ponteiros e rebolos), para cada parcela experimental, foram limpas através de escovação e peneiradas em local protegido e posteriormente ensacado todo o material para realização da pesagem. Para pesagem das amostras de material colhido para cada parcela experimental, foi utilizada uma balança de precisão da marca Bel com capacidade de leitura máxima de 2200 gramas e precisão de 0,01 gramas (Figura 17).



**Figura 17.** Separação e Pesagem das amostras para determinações de qualidade da matéria-prima colhida.



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

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 9 e de impurezas vegetais entre 3 e 7%, conforme a Tabela 10.

**Tabela 9.** 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)

**Tabela 10.** Classificação de impurezas vegetais.

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

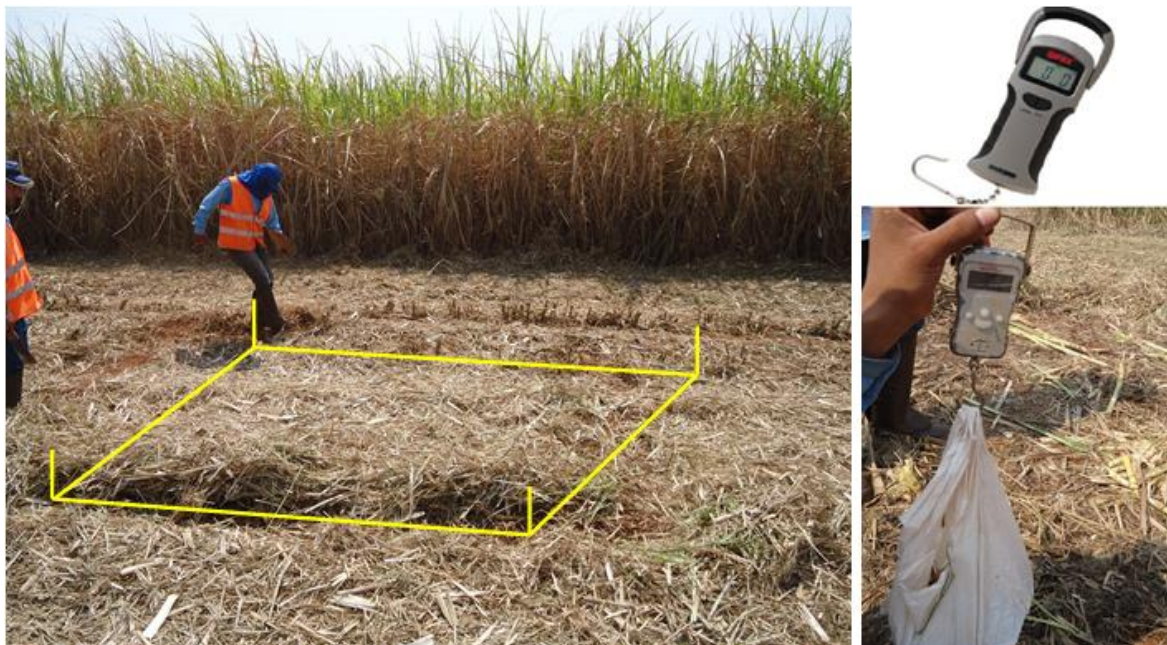
Fonte: BENEDINI et al. (2009)

### 3.10.2 Perdas de matéria prima

As perdas representam a massa de colmos e suas frações, cujo conteúdo em açúcar a qualifica como “*matéria prima industrializável*”, ficando sobre o solo após a colheita. A metodologia utilizada foi proposta pelo Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (BENEDINI et al., 2009), em que demarca-se uma área de 10 m<sup>2</sup> logo após a colheita e efetua-se a catação manual de todas as frações que não foram colhidas e em seguida foi realizada a pesagem, separadamente, de cada material recolhido utilizando uma balança portátil com capacidade de leitura até 25 kg e precisão de 10 gramas.

A área da parcela amostrada possuía 10 m<sup>2</sup>, abrangendo duas linhas de cana-de-açúcar, com 3,0 m na largura e 3,33 m no comprimento da fileira (Figura 18).

Os tipos de perdas foram caracterizados em frações de rebolos que foram estilhaçados, canas inteiras ou em pedaços amassados/estraçalhados, pedaços de cana-de-açúcar junto aos ponteiros, rebolos inteiros lançados fora do veículo transbordo e tocos altos deixados por deficiência no corte basal.



**Figura 18.** Demarcação da área para separação e pesagem das perdas no campo.

Para análise estatística foram realizadas 4 repetições para análise das perdas de matéria-prima para cada parcela experimental. As perdas foram obtidas em kg e 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 agrícola somada ao valor das perdas, conforme a Equação 6.

$$PM(\%) = \frac{Pc}{P + Pc} \quad (6)$$

Em que:

PM: Perdas de matéria-prima (%);

Pc: Perdas mensuradas no campo ( $t\ ha^{-1}$ );

P: Produtividade Agrícola obtida através da pesagem do transbordo ( $t\ ha^{-1}$ );

Após a obtenção dos índices de perdas, os resultados foram classificados em níveis de perda baixa, média ou alta, de acordo com os valores médios apresentados na Tabela 11:

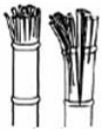
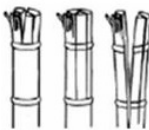


**Tabela 11.** Classificação das perdas de matéria-prima (%).

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

(Fonte: BENEDINI et al., 2009).

### 3.10.3 Altura de toco e Abalo de soqueiras

Para análise da qualidade do 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 4 repetições para cada tratamento, atribuindo uma pontuação a cada soqueira, conforme a metodologia proposta pelo CTC (Centro de Tecnologia Canavieira). Foram atribuídas notas para as soqueiras avaliadas, sendo classificadas conforme ilustrado na Figura 19.

Classificação de danos	Fragmentado	Rachaduras	Danos periféricos	Sem danos
<b>Limite inferior</b>				
<b>Nota</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

**Figura 19.** Tabela para a classificação dos danos às soqueiras. Adaptado de KROES (1997), citado por MELLO & HARRIS (2003).

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

## 4 RESULTADOS E DISCUSSAO

### 4.1 Avaliações do Índice de colheitabilidade

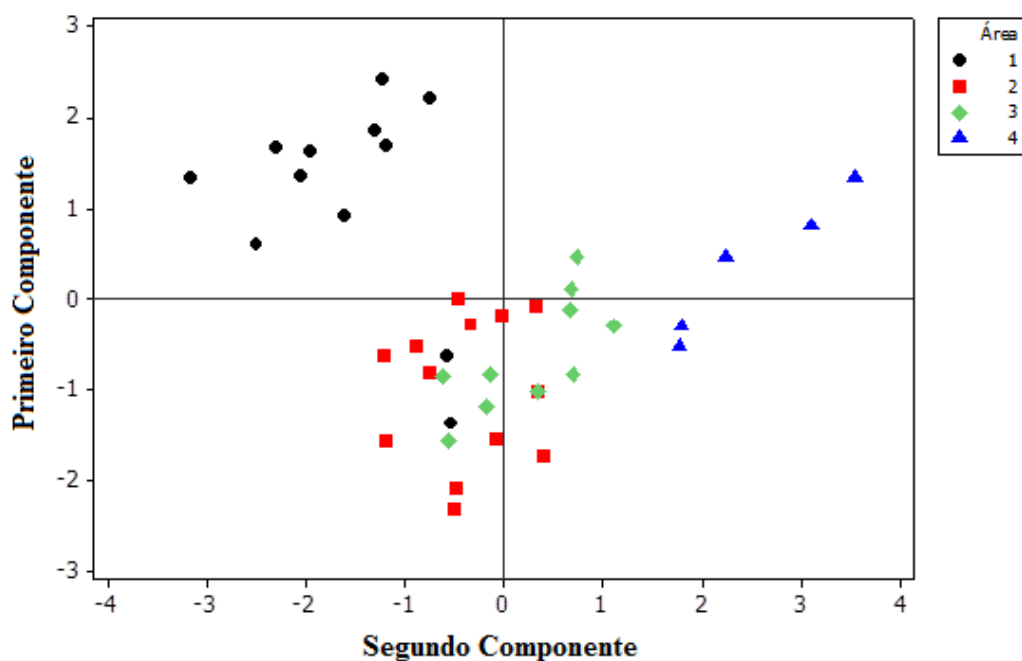
A partir da análise de componentes principais, foi observado que os fatores selecionados para compor o índice de colheitabilidade tiveram a seguinte sequência de representatividade nos resultados: porte do canavial, produtividade agrícola, sistematização/nivelamento, declividade do terreno, alinhamento entre fileiras e posição das soqueiras, onde foram atribuídos pesos para cada fator a fim de realizar o cálculo dos índices de colheitabilidade resultantes para cada parcela experimental.

Conforme se observa na Tabela 12, os resultados para cada fator tiveram representatividade diferente na composição do índice de colheitabilidade e, portanto, os pesos foram normatizados em função destes resultados.

**Tabela 12.** Análise da matriz de correlação entre os fatores e peso resultante atribuído à cada fator para o cálculo do índice de colheitabilidade resultante.

<b>Fator</b>	<b>Primeiro Componente</b>	<b>Segundo Componente</b>	<b>Peso Atribuído</b>
Porte do Canavial	0,523	0,263	4
Produtividade Agrícola	0,432	0,180	3
Sistematização/Nivelamento	0,415	0,456	3
Declividade do Terreno	0,384	0,481	2
Alinhamento entre Fileiras	0,381	0,489	2
Posição das Soqueiras	0,273	0,470	1

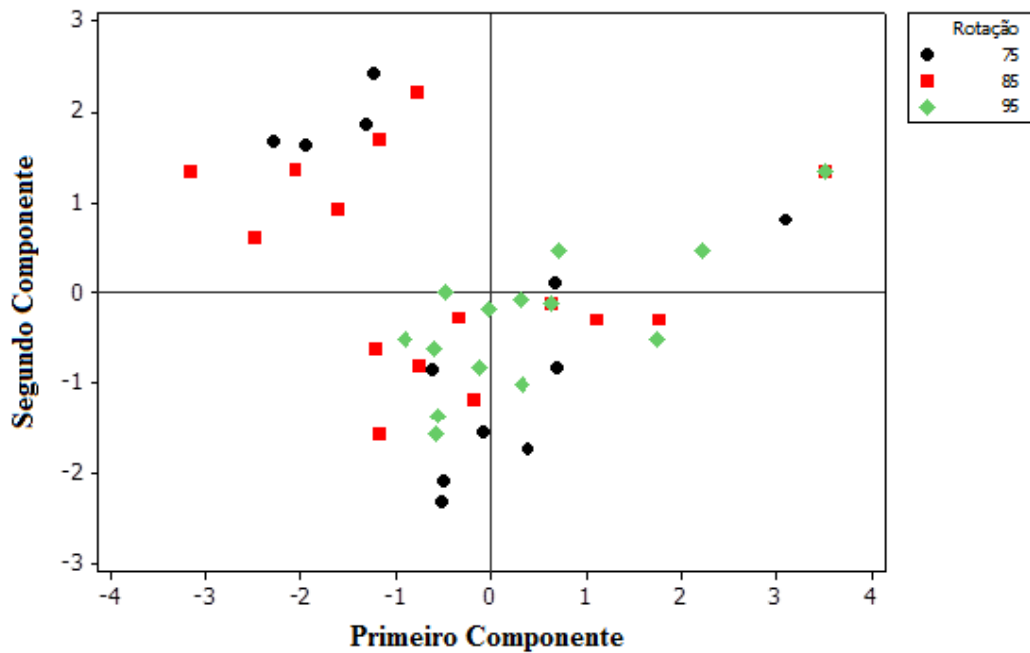
Ao observar a Figura 20, nota-se que foram criados grupos de resposta diferentes de índices de colheitabilidade entre as áreas, sendo as áreas 1 e 4 as que mais se distanciaram nos resultados, ou seja, estas apresentaram maiores diferenças para a colheitabilidade, enquanto as áreas 2 e 3 tiveram resultados semelhantes. Ao analisar o índice de colheitabilidade em cada parcela experimental (tratamento), observou-se que os resultados encontrados foram semelhantes para os tratamentos aplicados numa mesma área de colheita (Figura 21). Portanto, as produtividades médias diferentes entre as áreas apresentaram influência direta sobre os valores de índice de colheitabilidade resultantes, indicando que ao analisar os resultados de qualidade e desempenho operacional, possivelmente haverá diferenças significativas entre os tratamentos nas diferentes áreas de colheita.



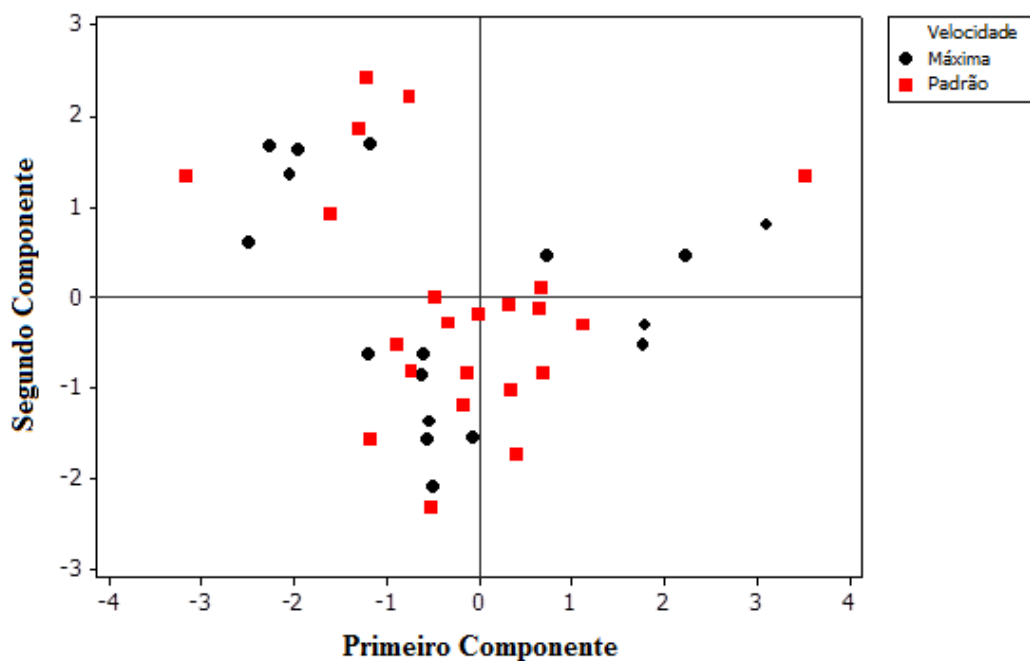
**Figura 20.** Análise de componentes principais do índice de colheitabilidade resultante para as áreas de colheita.

As Figuras 21 e 22 apresentam a distribuição dos resultados do índice de colheitabilidade dos tratamentos em função das rotações do motor e das velocidades de deslocamento utilizadas durante o experimento. Observa-se que os tratamentos aplicados foram distribuídos aleatoriamente dentro das áreas, não apresentando grupos de resposta distintos em função da rotação do motor ou das velocidades de

deslocamento, indicando que, independente do índice de colheabilidade encontrado em cada situação, estes tratamentos podem ser comparados.



**Figura 21.** Análise de componentes principais do índice de colheabilidade resultante para as rotações do extrator primário.



**Figura 22.** Análise de componentes principais do índice de colheabilidade resultante para as velocidades de colheita.

A Tabela 13 ilustra as notas atribuídas a cada fator que forma o índice de colheitabilidade durante as avaliações das parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos de colheita utilizando a colhedora A e os resultados encontrados para o índice de colheitabilidade de cada uma destas parcelas. Observou-se que o índice de colheitabilidade resultante encontrado foi variável entre as parcelas colhidas, porém apresentando resultados semelhantes, principalmente numa mesma área de colheita.

Observou-se que a área 2 apresentou os melhores resultados para o índice de colheitabilidade. Este comportamento foi observado principalmente em função da maior produtividade agrícola encontrada na área 2, resultando na atribuição de maiores notas para este fator, o que elevou o índice de colheitabilidade resultante. Apesar da variação notada nos demais fatores, estas não foram suficientes para causar grande impacto nos resultados do índice de colheitabilidade das parcelas.

**Tabela 13.** Notas atribuídas aos fatores que formam o índice de colheitabilidade em todas as parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos com a colhedora A.

Fatores	Área 1						Área 2					
	Vel. Padrão			Vel. Máxima			Vel. Padrão			Vel. Máxima		
	75%	85%	95%	75%	85%	95%	75%	85%	95%	75%	85%	95%
Porte	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Produtividade	2	2	3	3	2	2	3	4	4	4	4	4
Sistematização	3	2	4	2	3	4	4	3	4	4	3	4
Declividade	4	4	5	4	4	5	4	4	3	4	4	3
Alinhamento	4	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3	2
Posição	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3
<b>ICO</b>	3,5	3,1	4,0	3,5	3,3	3,8	3,8	3,7	3,8	3,9	3,9	3,8

Os resultados encontrados para o índice de colheitabilidade das parcelas experimentais colhidas com a colhedora B encontram-se na Tabela 14, onde verificou-se o mesmo comportamento observado nos resultados da colhedora A, ou seja, as parcelas colhidas na área 2 apresentaram os melhores índices de colheitabilidade, excetuando-se o tratamento de velocidade máxima utilizando 85% de rotação no extrator primário que apresentou índice de colheitabilidade semelhante aos encontrados na área 1.

Nos casos das colhedoras A e B, as parcelas experimentais colhidas na área de maior produtividade agrícola tiveram, na maioria dos casos, melhores resultados para o índice de colheitabilidade.

**Tabela 14.** Notas atribuídas aos fatores que formam o índice de colheabilidade em todas as parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos com a colhedora B.

Fatores	Área 1						Área 2					
	Vel. Padrão			Vel. Máxima			Vel. Padrão			Vel. Máxima		
	75%	85%	95%	75%	85%	95%	75%	85%	95%	75%	85%	95%
Porte	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Produtividade	2	3	3	3	2	3	5	4	4	4	3	4
Sistematização	3	3	4	2	3	4	4	3	4	4	3	4
Declividade	4	4	5	4	4	5	4	4	3	4	4	3
Alinhamento	4	4	3	3	2	2	2	3	3	3	2	2
Posição	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>ICO</b>	3,3	3,7	3,9	3,5	3,3	3,9	4,1	3,9	3,9	4,1	3,5	3,8

Os resultados do índice de colheabilidade das parcelas experimentais colhidas com a colhedora C encontram-se na Tabela 15.

Neste caso verificou-se que o índice de colheabilidade das parcelas experimentais colhidas na área 3, de menor produtividade agrícola, obtiveram os melhores resultados.

Ao observar os resultados das parcelas colhidas na área 4 nota-se que, apesar de apresentar maiores notas para produtividade agrícola quando comparadas às parcelas da área 3, o índice de colheabilidade das parcelas colhidas nesta área foi menor. Isto ocorreu devido ao estado do canavial, onde o mesmo encontrava-se deitado, resultando na atribuição das piores notas para porte do canavial dentre todas as áreas.

**Tabela 15.** Notas atribuídas aos fatores que formam o índice de colheabilidade em todas as parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos com a colhedora C.

Fatores	Área 3						Área 4					
	Vel. Padrão			Vel. Máxima			Vel. Padrão			Vel. Máxima		
	75%	85%	95%	75%	85%	95%	75%	85%	95%	75%	85%	95%
Porte	4	4	5	5	4	5	1	1	1			
Produtividade	3	4	4	2	3	3	5	5	4			
Sistematização	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
Declividade	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
Alinhamento	3	4	3	4	4	3	4	5	3			
Posição	2	3	3	4	3	4	2	2	2			
<b>ICO</b>	3,7	4,1	4,2	4,0	3,9	4,1	3,4	3,5	3,1			



Observa-se que não houveram resultados para os tratamentos de velocidade máxima na área 4. Isto ocorreu, pois ao buscar atingir a velocidade máxima de colheita, foi constatado que, em função das condições do canavial, a colhedora C não foi capaz de realizar a colheita a uma velocidade superior à pré-estabelecida como padrão de 5,0 km h<sup>-1</sup>. Portanto, os tratamentos de velocidade máxima na área 4 não foram aplicados pois já haviam os resultados obtidos à velocidade padrão de colheita, a qual também foi considerada a máxima para aquela condição.

Assim como ocorrido com a colhedora C, os resultados do índice de colheitabilidade das parcelas experimentais colhidas com a colhedora D (Tabela 16) também apresentou os piores resultados na área 4, pelo mesmo motivo já comentado.

**Tabela 16.** Notas atribuídas aos fatores que formam o índice de colheitabilidade em todas as parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos com a colhedora D.

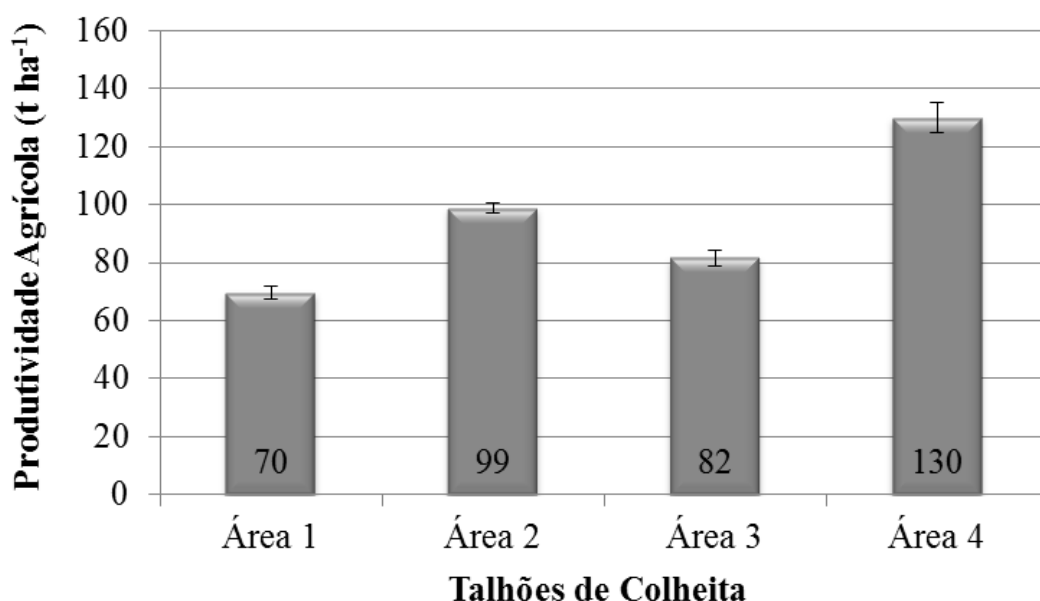
Fatores	Área 3						Área 4					
	Vel. Padrão			Vel. Máxima			Vel. Padrão			Vel. Máxima		
	75%	85%	95%	75%	85%	95%	75%	85%	95%	75%	85%	95%
Porte	4	4	4	5	4	5	1	1	1	1	1	1
Produtividade	4	3	3	3	3	3	5	5	5	5	4	4
Sistematização	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Declividade	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Alinhamento	3	2	4	3	4	4	5	5	5	4	3	4
Posição	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	4
<b>ICO</b>	3,9	3,6	3,9	4,0	3,9	4,1	3,5	3,5	3,5	3,4	3,1	3,3

Portanto, ao verificar os resultados nas quatro áreas de colheita, independente da colhedora utilizada, observou-se que as áreas 2 e 3 apresentaram os melhores resultados para o índice de colheitabilidade pois suas condições, apesar de variáveis dentro do mesmo talhão, estiveram mais homogêneas em relação ao índice de colheitabilidade.

Enquanto isso, as áreas 1 e 4 apresentaram os piores resultados, pois suas condições apresentaram problemas principalmente de baixa produtividade na área 1 e porte do canavial deitado na área 4, o que resultou em menores notas sendo atribuídas a estes fatores nas suas respectivas parcelas e, conseqüentemente, menor índice de colheitabilidade resultante para as mesmas.

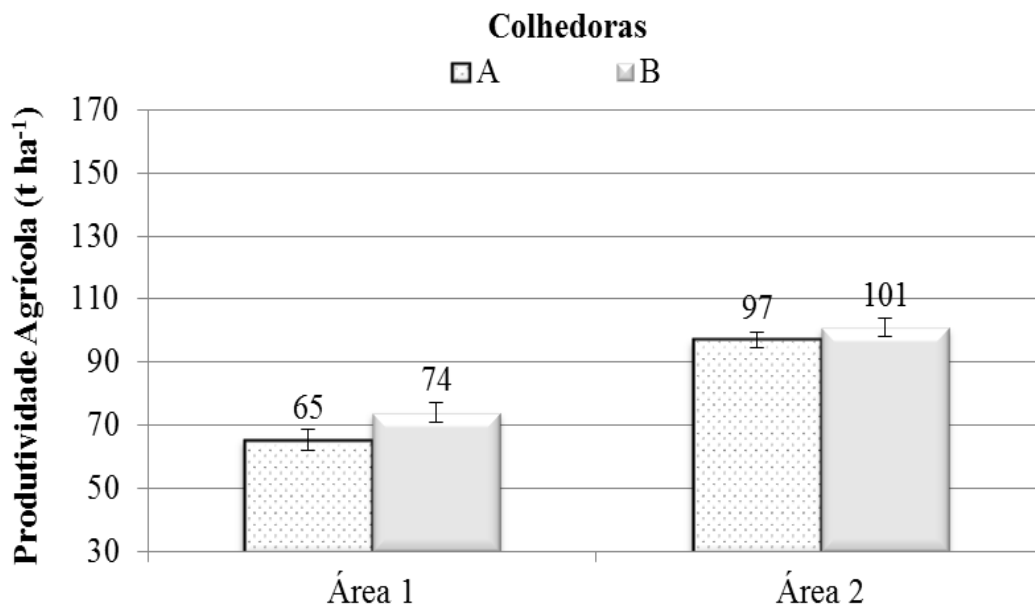
## 4.2 Produtividade agrícola das áreas

A Figura 23 apresenta a média de produtividade agrícola para todos os talhões colhidos durante o experimento. Estes resultados são média das produtividades encontradas em todas as parcelas experimentais onde foram aplicados os tratamentos de todas as colhedoras em cada área em que as mesmas realizaram a colheita. Os talhões de colheita 1 e 2, nos quais foram aplicados tratamentos com as colhedoras A e B apresentaram produtividade agrícola com diferença estatística significativa, assim como os talhões 3 e 4, nos quais foram aplicados tratamentos com as colhedoras C e D.



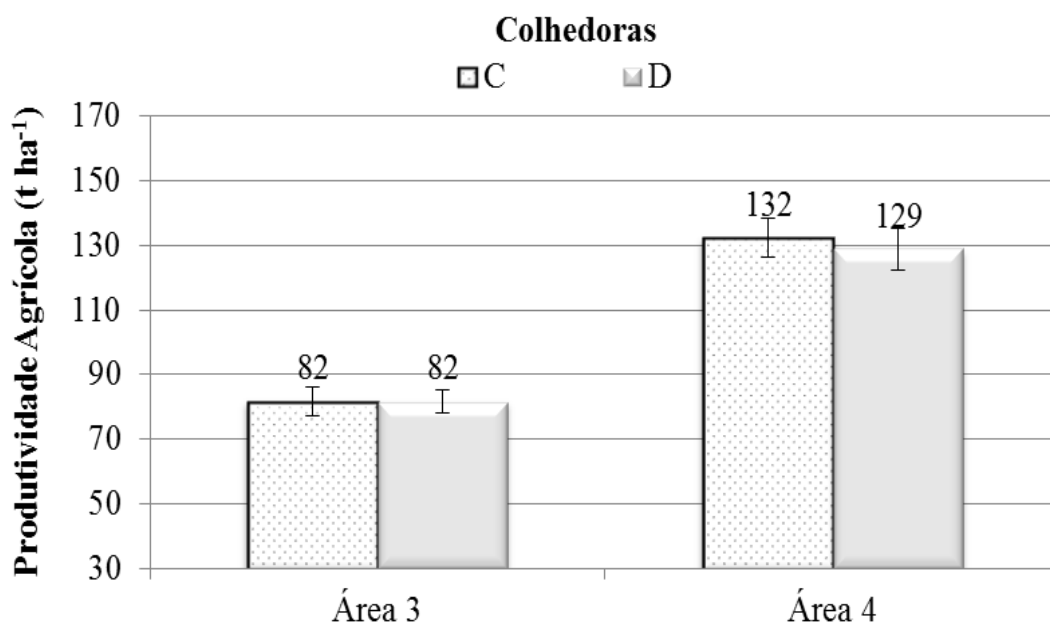
**Figura 23.** Produtividade média dos talhões colhidos durante o experimento.

A Figura 24 ilustra uma média de produtividade agrícola das parcelas experimentais colhidas de todos os tratamentos que foram aplicados para as colhedoras A e B, nos respectivos talhões onde as mesmas realizaram a colheita. Observou-se que as parcelas experimentais colhidas com a colhedora A apresentaram os menores valores de produtividade agrícola na área 1 em relação à colhedora B e resultados semelhantes na área 2.



**Figura 24.** Produtividade agrícola média das áreas onde cada colhedora realizou colheita.

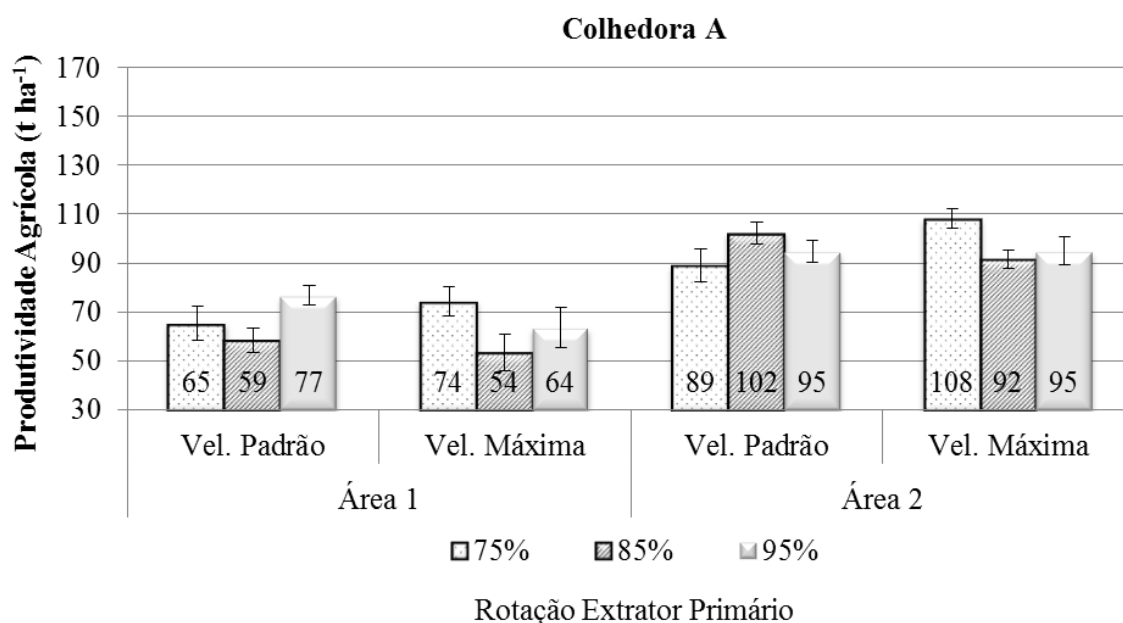
A Figura 25 ilustra uma média de produtividade agrícola das parcelas experimentais colhidas de todos os tratamentos que foram aplicados para as colhedoras C e D, nos respectivos talhões onde as mesmas realizaram a colheita. Observou-se que as parcelas experimentais colhidas com ambas as colhedoras apresentaram produtividade agrícola semelhantes tanto na área 3 como na área 4, não havendo diferença significativa.



**Figura 25.** Produtividade agrícola média das áreas onde cada colhedora realizou colheita.

As Figuras 26 e 27 apresentam a produtividade agrícola das parcelas experimentais colhidas de todos os tratamentos das colhedoras A e B em ambos os talhões onde as mesmas realizaram a colheita. Observou-se que há variabilidade da produtividade agrícola nas parcelas experimentais onde foram aplicados cada tratamento de velocidade e rotação do extrator primário em ambas as áreas, para todas as colhedoras, porém sem apresentar grandes diferenças entre os tratamentos, exceto quando há mudança de área de colheita, onde a produtividade agrícola de todos os tratamentos foram distintas entre as áreas, com a área 1 apresentando menor produtividade que a área 2 para todas as colhedoras.

As parcelas experimentais colhidas com a colhedora A apresentaram produtividade média entre 54 e 77 t ha<sup>-1</sup> na área 1, ou seja, foi observada uma variação de até 23 t ha<sup>-1</sup> entre os tratamentos. Na área 2, a produtividade das parcelas colhidas variaram entre 89 e 108 t ha<sup>-1</sup>, ou seja, com variação de até 19 t ha<sup>-1</sup>, sendo ambas as áreas diferentes estatisticamente entre si em função de suas produtividades (Figura 26).

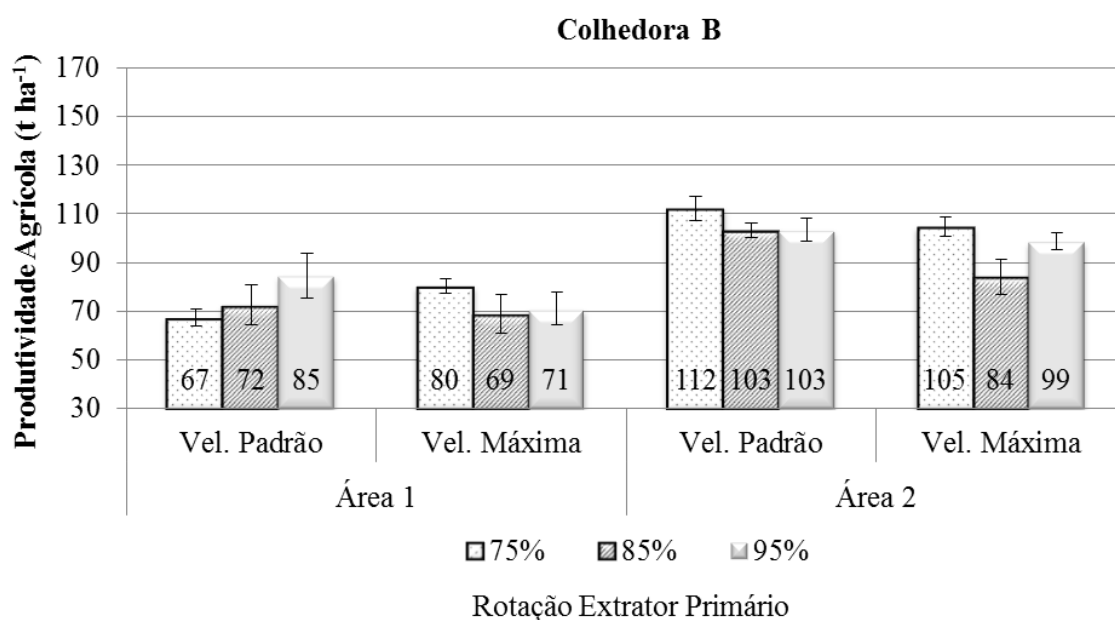


**Figura 26.** Produtividade agrícola média de todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

A produtividade agrícola é um dos principais fatores que compõem o índice de colheitabilidade, portanto exerce grande influência no resultado do índice atribuído a cada área ou talhão onde a metodologia para determinação do índice de

colheabilidade for aplicado. Ao cruzar os resultados da produtividade agrícola obtida nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A com os resultados do índice de colheabilidade atribuído a cada uma destas respectivas parcelas, verificou-se que as melhores colheabilidades foram encontradas justamente na área 2, onde havia maior produtividade agrícola.

As parcelas experimentais colhidas com a colhedora B por sua vez apresentaram variação de até 18 t ha<sup>-1</sup> na área 1, obtendo produtividade média entre 67 e 85 t ha<sup>-1</sup>, enquanto da área 2 a variação de produtividade entre os tratamentos foi de até 28 t ha<sup>-1</sup>, estando entre 84 e 112 t ha<sup>-1</sup>. Portanto, tanto com a colhedora A como com a colhedora B, as parcelas experimentais colhidas em ambas as áreas foram diferentes estatisticamente em função de suas produtividades (Figura 27).

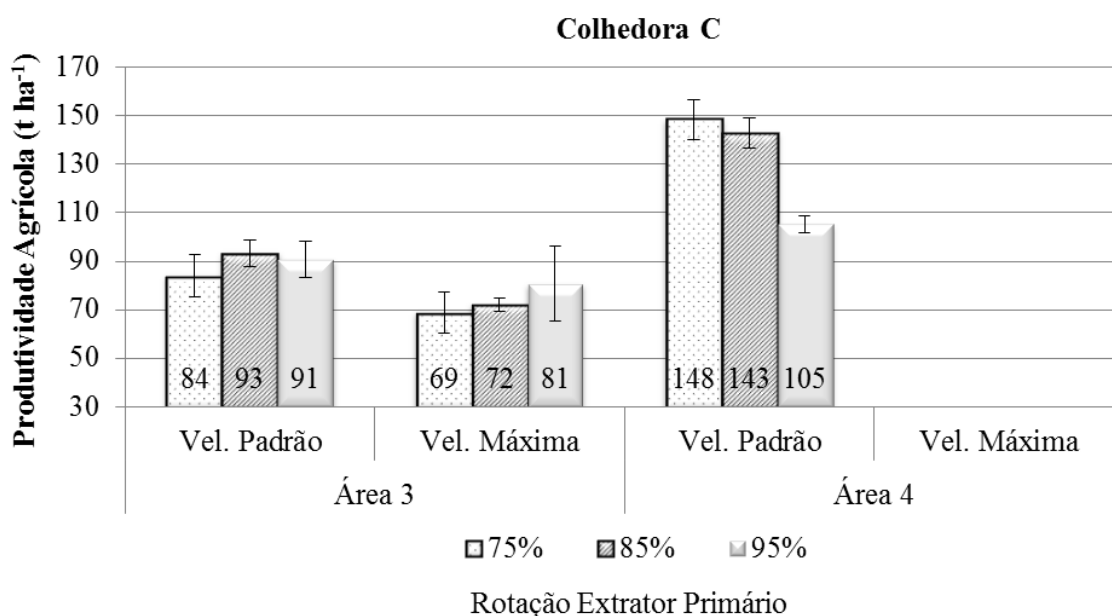


**Figura 27.** Produtividade agrícola média de todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

Ao verificar os resultados do índice de colheabilidade para estas parcelas observou-se que na maioria dos casos, os melhores índices de colheabilidade foram obtidos na área 2, onde havia maior produtividade agrícola. Apesar da área 1 apresentar menor produtividade agrícola e, conseqüentemente, menor nota do índice, algumas parcelas experimentais desta área apresentaram notas semelhantes às atribuídas às parcelas da área 2.

Além disso, o tratamento com 85% de rotação no extrator primário, colhendo na velocidade máxima na área 2 apresentou um índice de colheabilidade tão baixo quanto os índices atribuídos às parcelas da área 1. Portanto, apesar de sua forte influência no resultado do índice de colheabilidade de uma área, a alta produtividade agrícola por si só não garante o melhor índice de colheabilidade resultante.

Os resultados de produtividade agrícola mensurada nas parcelas onde a colhedora C realizou a colheita estão apresentados na Figura 28. Observa-se que o tratamento com 95% da rotação do extrator primário utilizado na velocidade padrão na área 4 obteve produtividade agrícola da parcela experimental colhida inferior às demais parcelas na mesma área, sendo este fato identificado no momento da colheita devido ao alto índice de falhas presentes na linha de plantio.



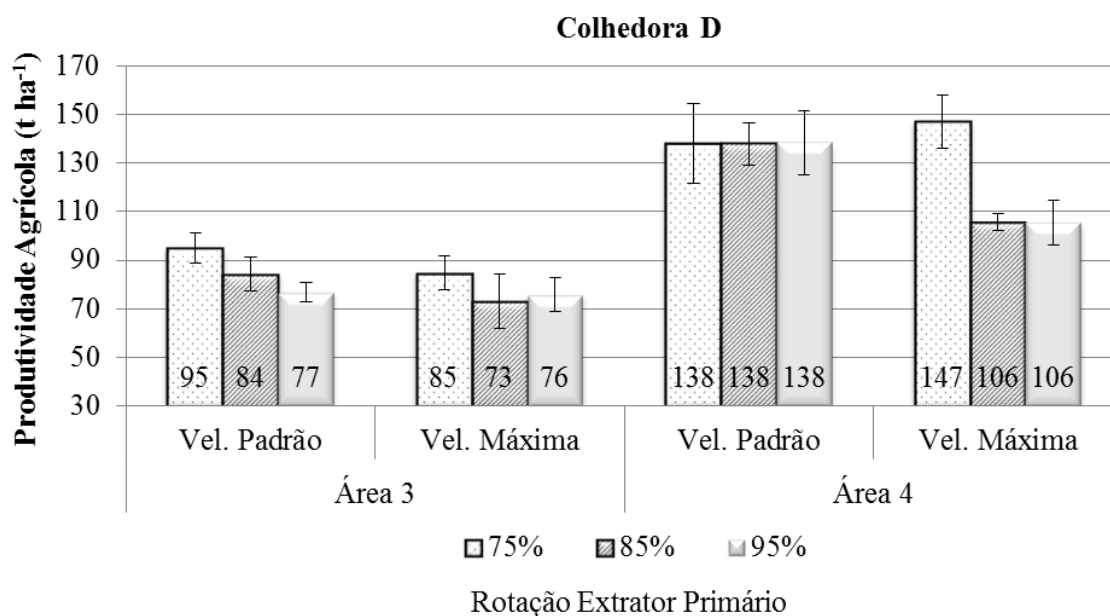
**Figura 28.** Produtividade agrícola média de todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

As parcelas experimentais colhidas com a colhedora C na área 3 apresentaram variação de até 34 t ha<sup>-1</sup>, com produtividades médias mensuradas entre 69 e 93 t ha<sup>-1</sup>, enquanto a produtividade entre os tratamentos na área 4 variou entre 105 e 148 t ha<sup>-1</sup>, apresentando variação de até 43 t ha<sup>-1</sup>.

Ao verificar os índices de colheabilidade encontrados nas parcelas colhidas com a colhedora C, observou-se que os melhores resultados foram obtidos na área 3. Comparando os resultados do índice de colheabilidade das áreas 3 e 4, observou-se que

dentre os fatores que o compõem, o porte do canavial apresentou as piores notas na área 4, o que resultou em menores notas obtidas para o índice de colheabilidade nesta área, mesmo esta obtendo as melhores notas para produtividade agrícola.

As parcelas experimentais colhidas com a colhedora D apresentaram variação de até 22 t ha<sup>-1</sup> na área 3, obtendo produtividade média mensurada entre 73 e 95 t ha<sup>-1</sup>, enquanto na área 4 a variação de produtividade entre os tratamentos foi de até 41 t ha<sup>-1</sup>, estando entre 106 e 147 t ha<sup>-1</sup> (Figura 29).



**Figura 29.** Produtividade agrícola média de todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

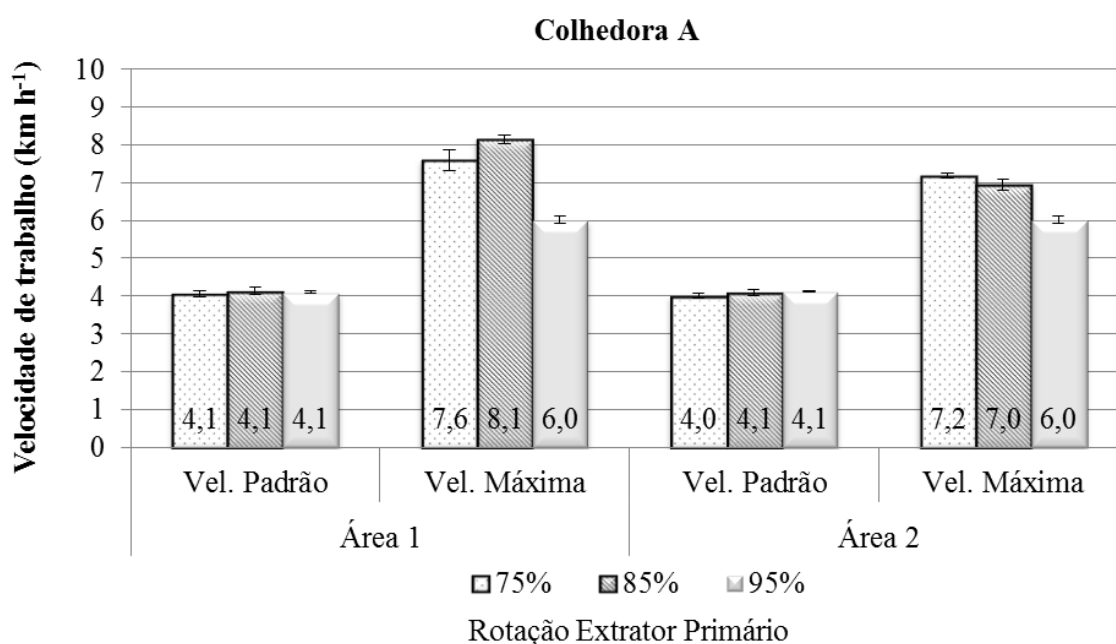
Portanto, tanto com a colhedora C como com a colhedora D, as parcelas experimentais colhidas em ambas as áreas foram diferentes estatisticamente em função de suas produtividades.

Ao analisar o índice de colheabilidade resultante para as parcelas experimentais colhidas com a colhedora D, observou-se o mesmo comportamento verificado para as parcelas da colhedora C, ou seja, as melhores notas para colheabilidade foram encontradas na área 3, a qual apresentava porte do canavial predominantemente ereto na maioria das parcelas experimentais. Em contrapartida, devido ao porte deitado encontrado, o índices de colheabilidade encontrados nas parcelas colhidas na área 4 obtiveram as piores notas.

### 4.3 Velocidade de trabalho

As Figuras 31, 32, 33 e 34 apresentam as velocidades de deslocamento obtidas em todos os tratamentos das colhedoras A, B, C e D, respectivamente, em ambos os talhões onde as mesmas realizaram a colheita. Pode ser observado que quando foram aplicados os tratamentos que utilizaram velocidade padrão, independentemente da colhedora utilizada, área de colheita ou rotação do extrator primário, as velocidades obtidas por todas as colhedoras foram semelhantes entre os tratamentos. Em contrapartida, os tratamentos nos quais buscou-se a velocidade máxima de colheita apresentaram variações significativas nas velocidades obtidas nos tratamentos, resultantes das condições de colheitabilidade do canavial no momento da colheita.

Na Figura 30 observa-se que a máxima velocidade de colheita obtida nos tratamentos com 75 e 85% da rotação do extrator primário na área 1 foi maior que a obtida nos mesmo tratamentos quando aplicados na área 2. As condições de colheitabilidade no momento da colheita, bem como o aumento da produtividade da área 1 para a área 2, observada anteriormente, foram os fatores responsáveis pela menor capacidade em atingir alta velocidade de colheita, quando operando na área 2. A máxima velocidade de colheita obtida pela colhedora A variou de 6,0 a 8,1  $\text{km h}^{-1}$  na área 1 e entre 6,0 e 7,2  $\text{km h}^{-1}$  na área 2, sendo diferentes estatisticamente.



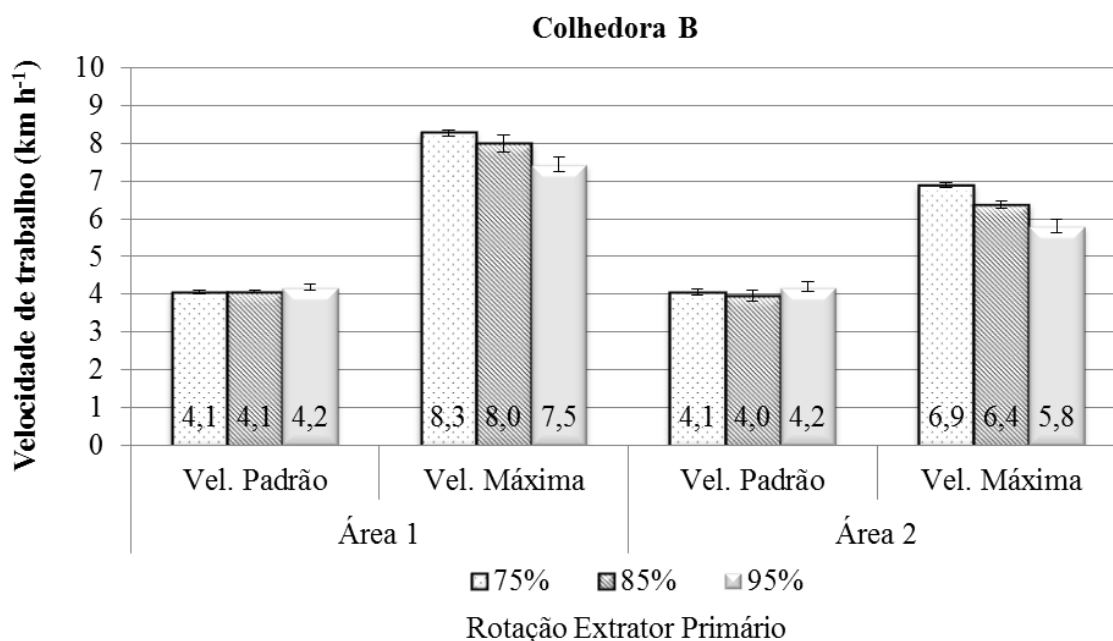
**Figura 30.** Velocidade de trabalho alcançada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.



Como foi comentado anteriormente, as diferenças entre os índices de colheabilidade das áreas 1 e 2 foram principalmente devido às diferenças de produtividade agrícola entre estas áreas e ao observar os resultados de velocidade máxima de trabalho, verificou-se que mesmo nas melhores colheabilidades, foram obtidos menores velocidades máximas de colheita, evidenciando que apesar das melhores condições para colheita, a velocidade máxima de trabalho é influenciada principalmente pela produtividade agrícola do canavial.

Assim como com a colhedora A, com a colhedora B também foi observada redução na velocidade máxima ao realizar a colheita na área 2 em relação à colheita na área 1, afirmando a redução de capacidade de imprimir velocidade quando a produtividade agrícola do canavial é elevada. Além disso, também foi observada redução de velocidade máxima de colheita quando aumentou-se a rotação do extrator primário em ambas as áreas (Figura 31).

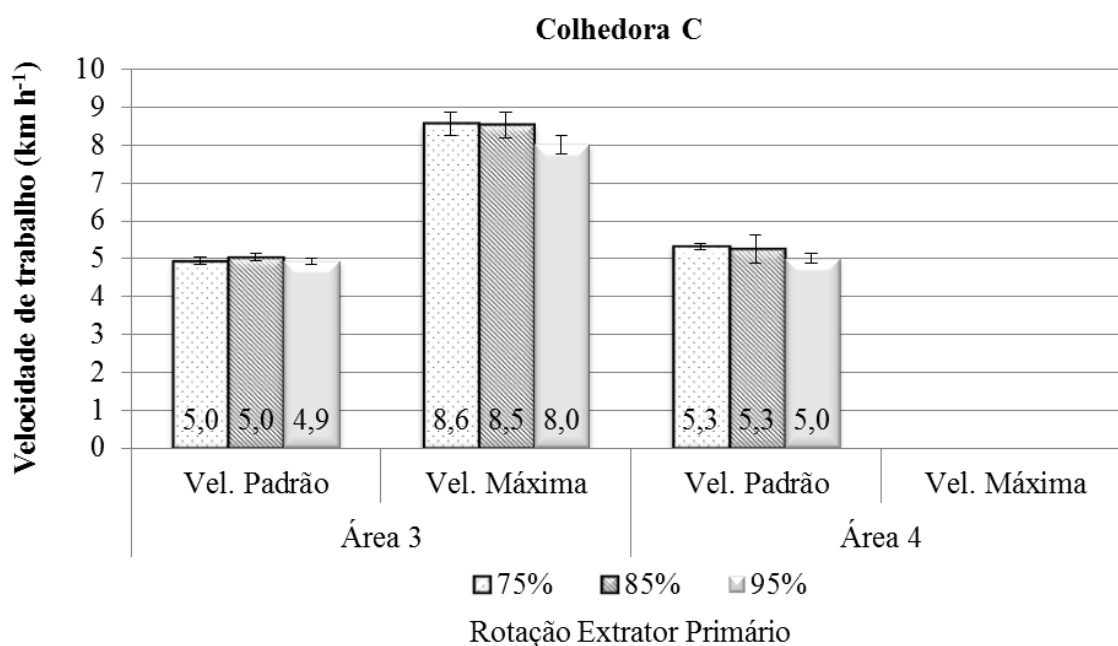
Sendo assim, a máxima velocidade de colheita obtida pela colhedora B variou de 7,5 a 8,3  $\text{km h}^{-1}$  na área 1 e entre 5,8 e 6,9  $\text{km h}^{-1}$  na área 2, sendo diferentes estatisticamente entre as áreas.



**Figura 31.** Velocidade de trabalho alcançada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

Assim como observado nas colhedoras anteriores, a velocidade máxima de colheita atingida pela colhedora C na área 4 foi menor que na área 3, devido ao

aumento de produtividade agrícola conforme citado anteriormente, reduzindo de uma faixa entre 8,0 a 8,6  $\text{km h}^{-1}$  para 5,0 a 5,3  $\text{km h}^{-1}$  (Figura 32).

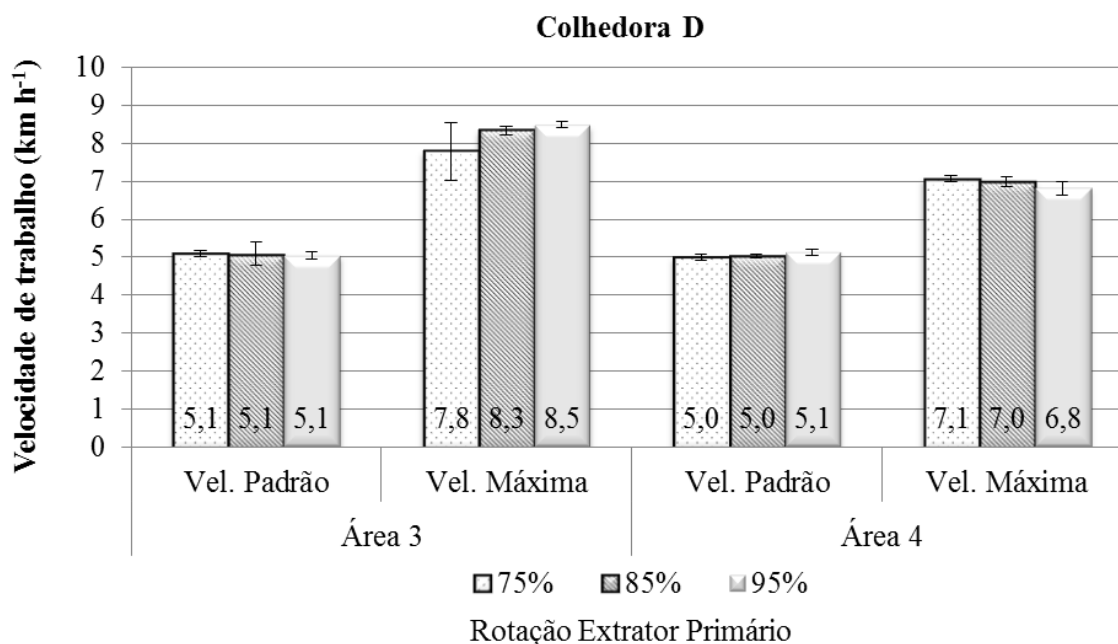


**Figura 32.** Velocidade de trabalho alcançada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Lembrando que as colhedoras A e C são de mesmo modelo e ano de fabricação, ao comparar a velocidade máxima de trabalho alcançada entre ambas nas respectivas áreas de alta produtividade onde as mesmas trabalharam (Área 2 para colhedora A e área 4 para colhedora C), observa-se que a máxima velocidade alcançada pela colhedora C (aproximadamente 5,0  $\text{km h}^{-1}$ ) foi bastante inferior à máxima velocidade alcançada pela colhedora A (aproximadamente 7,0  $\text{km h}^{-1}$ ). Ao comparar os índices de colheabilidade entre estas áreas, nota-se que a área 4 apresentou piores resultados quando comparados aos resultados da área 2, principalmente em função do porte do canal. Portanto, constatou-se que, assim como a produtividade agrícola, o porte do canal foi um dos fatores que influenciaram na perda de capacidade em atingir máxima velocidade de colheita.

Os resultados de velocidade de colheita da colhedora D estão apresentados na Figura 33, onde também foi observado que houve diferenças entre os tratamentos de velocidade máxima na área 3 e na área 4, havendo redução da velocidade máxima atingida à medida que aumentou a produtividade agrícola, pois a mesma reduziu

da faixa entre 7,8 a 8,5 km h<sup>-1</sup> na área 3, para em torno de 6,8 a 7,1 km h<sup>-1</sup> na área 4, sendo diferentes estatisticamente entre si.



**Figura 33.** Velocidade de trabalho alcançada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

Como foi observado, outro fator que pode ter influenciado na obtenção da máxima velocidade de colheita foi a configuração de rotação do extrator primário utilizado durante a colheita, pois em grande parte dos tratamentos, de todas as colhedoras, a máxima velocidade alcançada no momento da colheita foi menor do que quando utilizou-se menores rotações do que nas mais altas rotações do extrator primário, o que pode ser atribuído à maior demanda de potência para o funcionamento deste dispositivo de limpeza, resultando em perda de potência disponível para imprimir velocidade à colhedora no momento da colheita.

Nos casos das colhedoras C e D, observou-se a limitação em atingir a velocidade máxima de trabalho com o aumento da produtividade agrícola, porém, ao contrário do observado com as colhedoras A e B, apesar da alta produtividade agrícola, os índices de colheitabilidade obtidos na área 4 foram inferiores aos encontrados na área 3, principalmente em função do porte deitado do canavial.

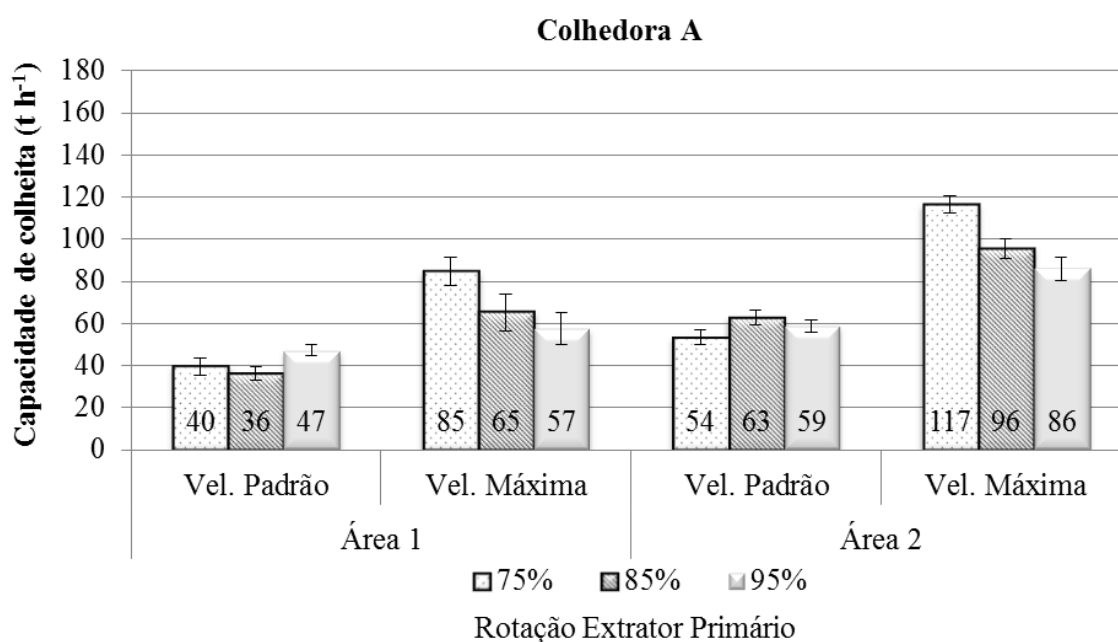
#### 4.4 Desempenho operacional

#### 4.1 Capacidade de Colheita

A capacidade de colheita indica a quantidade de produto em que a colhedora é capaz de colher cana-de-açúcar num determinado tempo, ou seja, é uma função diretamente proporcional entre a produtividade agrícola do canavial e a velocidade de trabalho da colhedora, portanto o aumento em qualquer um destes fatores ou de ambos resulta em maior capacidade de colheita da colhedora. Contudo, como pode ser observado anteriormente, a velocidade de trabalho pode ser limitada pela produtividade agrícola.

Na Figura 34 estão ilustrados os resultados da colhedora A, que variaram entre 36 e 47 t h<sup>-1</sup> quando os tratamentos foram colhidos na área 1, utilizando a velocidade padrão de colheita. Nesta mesma área, ao realizar a colheita na velocidade máxima, os resultados obtidos de capacidade de colheita estiveram entre 57 e 85 t h<sup>-1</sup>.

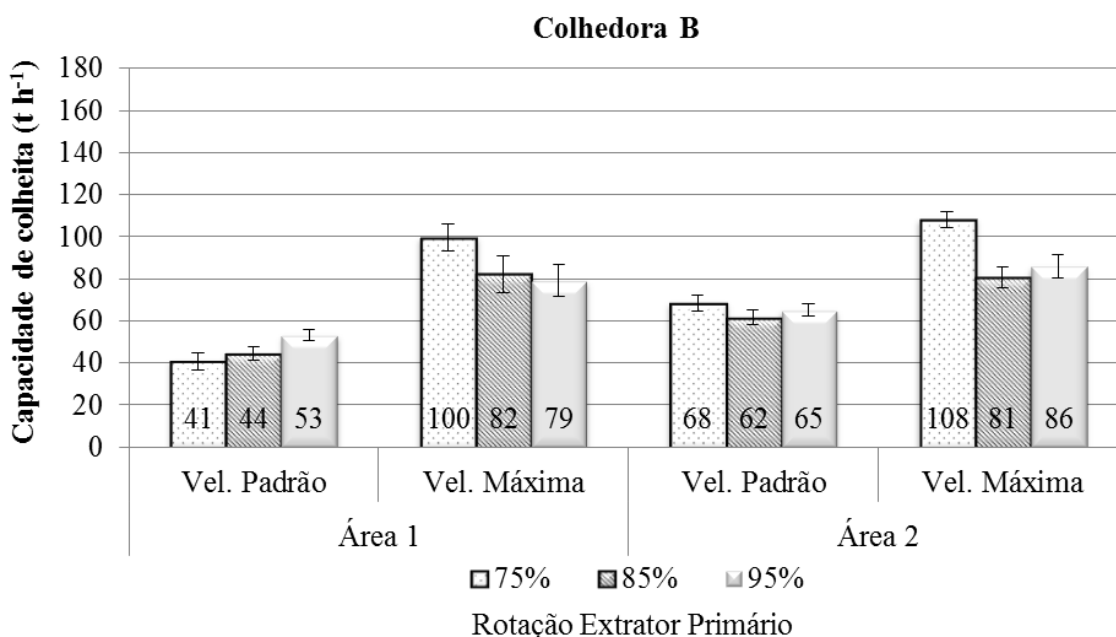
Ao realizar a colheita na área 2, onde o talhão apresentava maior produtividade agrícola, a capacidade de colheita na velocidade padrão foi maior que na área 1, sendo diferente estatisticamente. Já na velocidade máxima de colheita, a capacidade de colheita na área 2 obteve os melhores resultados, variando entre 86 e 117 t h<sup>-1</sup>, diferenciando-se estatisticamente dos demais e evidenciando que a associação positiva entre os fatores velocidade e produtividade favorecem a capacidade de colheita das colhedoras.



**Figura 34.** Capacidade de colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

Os resultados na área 2 foram semelhantes aos obtidos por Furlani Neto (1995) que em canavial de produtividade de  $90 \text{ t ha}^{-1}$  colhendo à velocidade de  $4,6 \text{ km h}^{-1}$  obteve  $57,8 \text{ t.h}^{-1}$  e Mazzonetto (2004) que a  $6,0 \text{ km h}^{-1}$  atingiu  $59,2 \text{ t.h}^{-1}$ . Já os tratamentos de alta velocidade na área 2 estiveram próximos aos encontrados por Rozeff (1989) que obteve  $91 \text{ t h}^{-1}$ , por De León (2000) que obteve  $93 \text{ t h}^{-1}$  e Nery (2000) que obteve  $87 \text{ t h}^{-1}$ .

Ao analisar os resultados da colhedora B (Figura 35), observou-se que os resultados de capacidade de colheita na velocidade padrão foram superiores na área 2 em relação à área 1 devido à maior produtividade agrícola encontrada nesta área. Portanto enquanto a colheita rendeu entre  $41$  e  $53 \text{ t h}^{-1}$  na área 1, com o aumento de produtividade entre as áreas, a mesma passou a render entre  $62$  e  $68 \text{ t h}^{-1}$ , ou seja, aproximadamente  $18 \text{ t h}^{-1}$  a mais. Em contrapartida, apesar do aumento de produtividade, a colheita na máxima velocidade na área 2 não apresentou diferença estatística com relação à colheita na área 1 na mesma condição de velocidade, pois como havia sido observado anteriormente, a velocidade máxima atingida nestas duas condições foram diferentes estatisticamente, sendo que na área 2 a mesma foi menor.

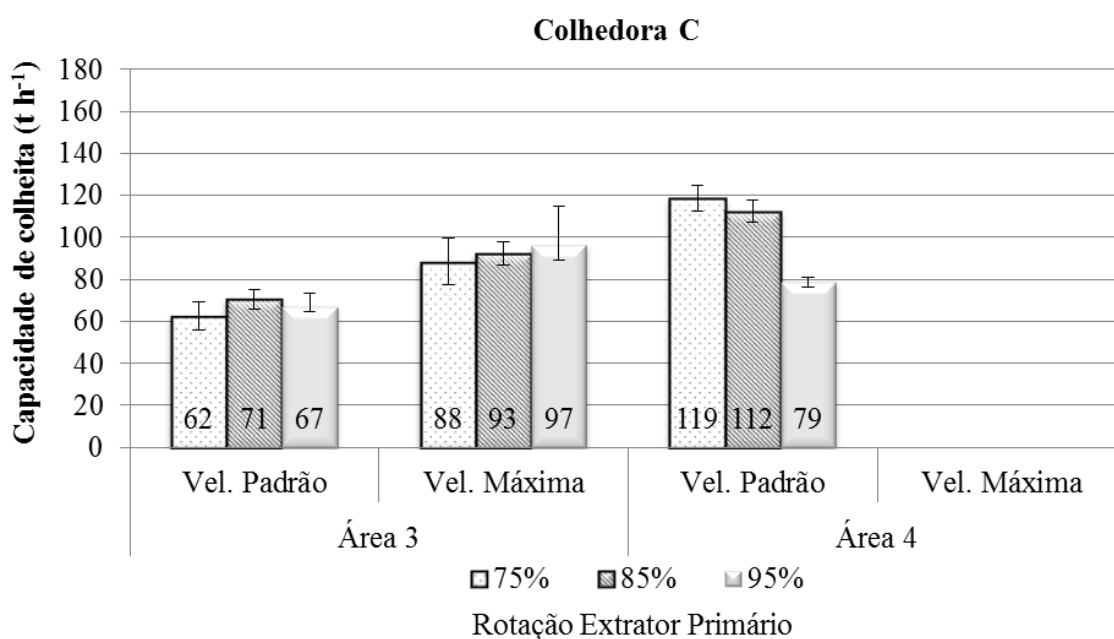


**Figura 35.** Capacidade de colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

Conforme apresentado anteriormente, houve pouca variação dos índices de colheitabilidade encontrados entre as parcelas experimentais onde foram

aplicados os tratamentos dentro de uma mesma área, contudo a mudança de área implicou em mudança significativa do índice de colheitabilidade. Portanto, ao analisar os resultados de capacidade de colheita em condições semelhantes de velocidade de colheita, observa-se que na área 2, onde foram encontrados os melhores índices de colheitabilidade, também foram obtidos os melhores resultados em capacidade de colheita assim como com a colhedora A.

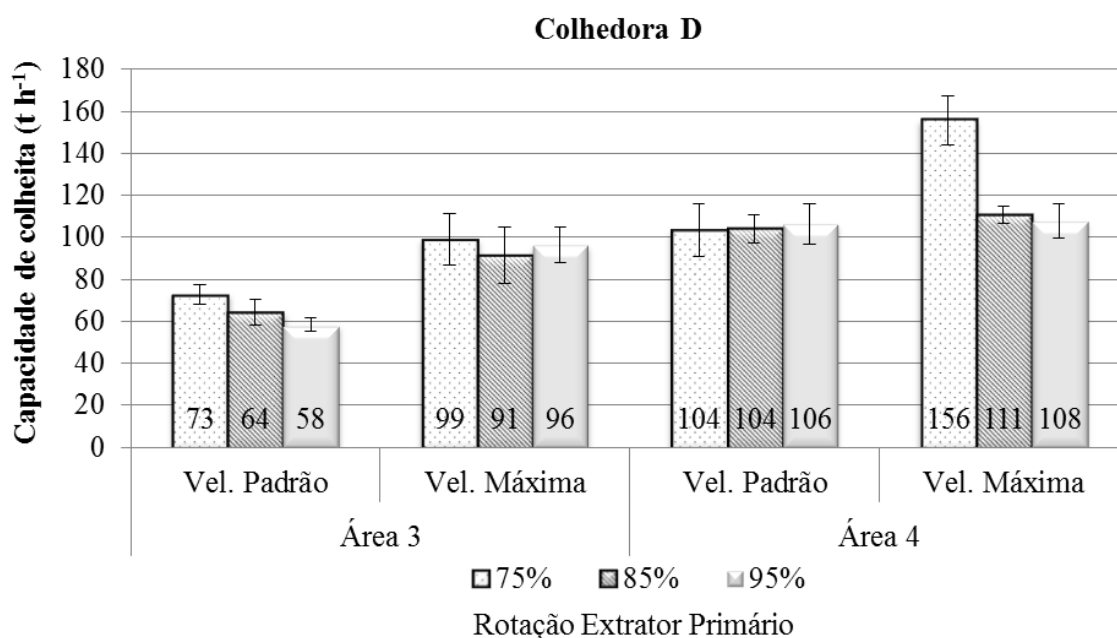
Na área 3, o aumento de velocidade de colheita com a colhedora C foi responsável por um acréscimo de aproximadamente  $25 \text{ t h}^{-1}$  em capacidade de colheita, já que a mesma na velocidade padrão esteve entre  $62$  e  $71 \text{ t h}^{-1}$ , enquanto na máxima velocidade variou entre  $88$  e  $97 \text{ t h}^{-1}$ , sendo diferentes estatisticamente entre as velocidades mas não entre as rotações do extrator primário. Já na área 4, observa-se que mesmo apresentando pior índice de colheitabilidade, nos tratamentos de velocidade padrão, a capacidade de colheita foi superior aos demais tratamentos devido à alta produtividade agrícola encontrada neste talhão, excetuando-se o tratamento com 95% da rotação do extrator primário, que obteve capacidade de colheita semelhantes aos anteriores de máxima velocidade na área 3, devido ao problema de produtividade desta parcela mencionado anteriormente (Figura 36). Observou-se também que não há influência da rotação do extrator primário na capacidade de colheita das colhedoras, pois em praticamente todos os tratamentos os resultados foram semelhantes estatisticamente.



**Figura 36.** Capacidade de colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Estes resultados estão acima dos encontrados por Romero et. al. (1993) que em ensaios realizados a  $5,7 \text{ km h}^{-1}$  obteve 51 a  $58 \text{ t h}^{-1}$ .

Na Figura 37 estão ilustrados os resultados da colhedora D, que variaram entre 58 e  $73 \text{ t h}^{-1}$  quando os tratamentos foram colhidos na área 3, utilizando a velocidade padrão de colheita. Nesta mesma área, ao realizar a colheita na velocidade máxima, os resultados obtidos de capacidade de colheita estiveram entre 91 e  $99 \text{ t h}^{-1}$ . Já na área 4, os tratamentos que utilizaram velocidade padrão de colheita obtiveram capacidade de colheita em torno de  $105 \text{ t h}^{-1}$ , enquanto na máxima velocidade de colheita a capacidade de colheita encontrada no tratamento com 75% de rotação no extrator primário foi de  $156 \text{ t h}^{-1}$ , contra cerca de  $110 \text{ t h}^{-1}$  dos tratamentos com 85 e 95% da rotação.



**Figura 37.** Capacidade de colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Como observado na colhedora D, apesar do índice de colheitabilidade na área 3 estivesse melhor, a grande diferença de produtividade entre ambas as áreas favoreceu o resultado de capacidade de colheita na velocidade padrão na área 4, obtendo cerca de  $40 \text{ t h}^{-1}$  a mais. Contudo, esta mesma diferença de produtividade não obteve o mesmo resultado quando buscou-se a velocidade máxima de colheita, pois o fato da velocidade atingida ter sido muito menor em relação a obtida na área 3, a capacidade de colheita entre estas duas áreas foram semelhantes, excetuando-se no tratamento com 75% de rotação no extrator primário.

Os resultados do ensaio de alta velocidade na área 2 estão próximos aos encontrados por Nery (2000) que a  $7,6 \text{ km h}^{-1}$  obteve  $110 \text{ t h}^{-1}$  e inferiores aos de De León (2000) que trabalhando em velocidades de  $7,3$  e  $8,0 \text{ km h}^{-1}$  atingiu  $131$  e  $141 \text{ t h}^{-1}$ , respectivamente.

Os resultados encontrados de capacidade de colheita afirmam que a mesma é influenciada diretamente pela velocidade de trabalho e produtividade do canavial, contudo observou-se que em um canavial apresentando melhor colheitabilidade, nem sempre serão obtidos os melhores resultados em capacidade de colheita, principalmente se a produtividade agrícola não for a melhor.

Para Michelazzo & Braunbeck (2008), a quantidade de material recolhido pode ser alterada com a mudança na configuração das funções de colheita das colhedoras para corte de ponteiros e limpeza de palha, permitindo o recolhimento parcial ou integral, tendo esta última melhor eficiência energética e menor custo.

Assim como afirmado por Ramos et al. (2016), as principais diferenças de capacidade efetiva entre os tratamentos de mesma velocidade foram relativas à produtividade obtida nas repetições, confirmando as conclusões de Romero et al. (1993), Banchi et al. (2012) e Mathanker et al. (2015), de que a capacidade da máquina tem relação diretamente proporcional a produtividade da área e que, portanto, numa mesma velocidade, varia de acordo com a produtividade agrícola colhida.

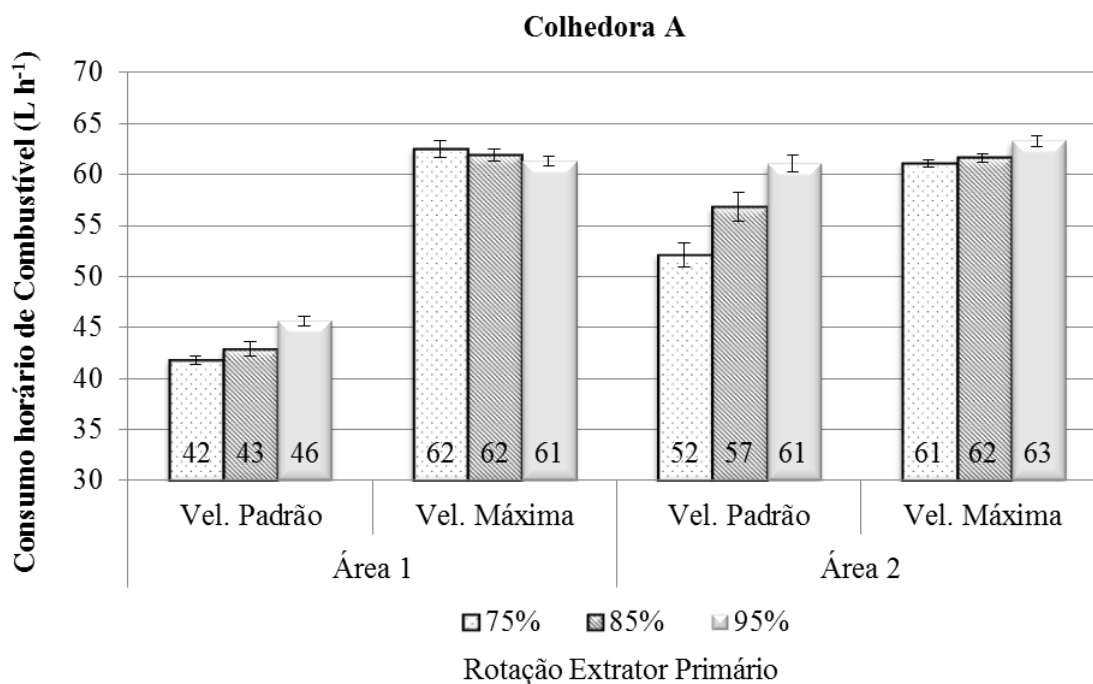
## **4.2 Consumo horário de combustível**

O consumo horário de combustível obtido nos tratamentos está apresentado na Figura 38, onde observou-se que os tratamentos que utilizaram velocidade padrão na área 1 apresentaram o menor consumo horário dentre todos os tratamentos, variando entre  $42$  e  $46 \text{ L h}^{-1}$ . Ainda utilizando a velocidade padrão, porém na área 2, observou-se maior consumo de combustível variando em torno de  $55 \text{ L h}^{-1}$ , representando cerca de 25%, aumento este resultante da influência da maior produtividade agrícola encontrada nesta área.

Os resultados para consumo horário de combustível apresentados neste trabalho são semelhantes aos encontrados nos trabalhos de Lyra (2012) que obteve  $55,8 \text{ L h}^{-1}$ , Schmidt Junior (2011) que obteve  $50,3 \text{ L h}^{-1}$ .



Conforme Rosa (2013), com o aumento da velocidade colhe-se mais cana, exigindo mais da máquina e fazendo com que seu consumo aumente.

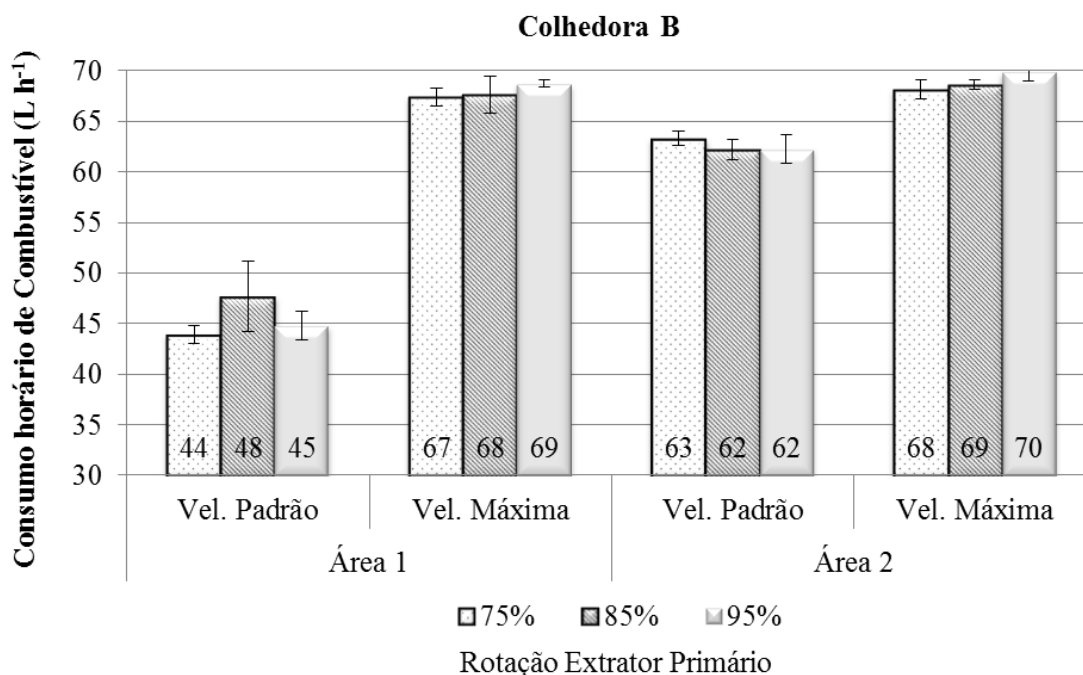


**Figura 38.** Consumo horário de combustível em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

Ao realizar a colheita na velocidade máxima, observou-se um aumento significativo do consumo horário de combustível, sendo diferente estatisticamente em relação à velocidade padrão, tanto na área 1 como na área 2. Contudo, na área 1 o aumento de consumo foi da ordem de 40%, enquanto que na área 2, a colheita na máxima velocidade resultou em cerca de 13% a mais de consumo horário de combustível em relação à velocidade padrão. Em relação à variação das rotações do extrator primário, observou-se leve aumento de consumo de combustível ao aumentar a rotação do extrator primário em ambas as áreas na velocidade padrão, enquanto não houve diferença de consumo de combustível entre as rotações do extrator primário quando a colheita foi realizada na máxima velocidade, em ambas as áreas.

A colhedora B (Figura 39) obteve consumo horário entre 44 e 48 L h<sup>-1</sup> ao realizar a colheita na área 1 utilizando a velocidade padrão, enquanto nesta mesma velocidade, mas colhendo na área 2, a mesma colhedora consumiu em torno de 62 L h<sup>-1</sup>, aumento (34%) causado pela maior produtividade encontrada naquela área, indicando que a colhedora demandou maior potência dos seus componentes para processar a maior massa

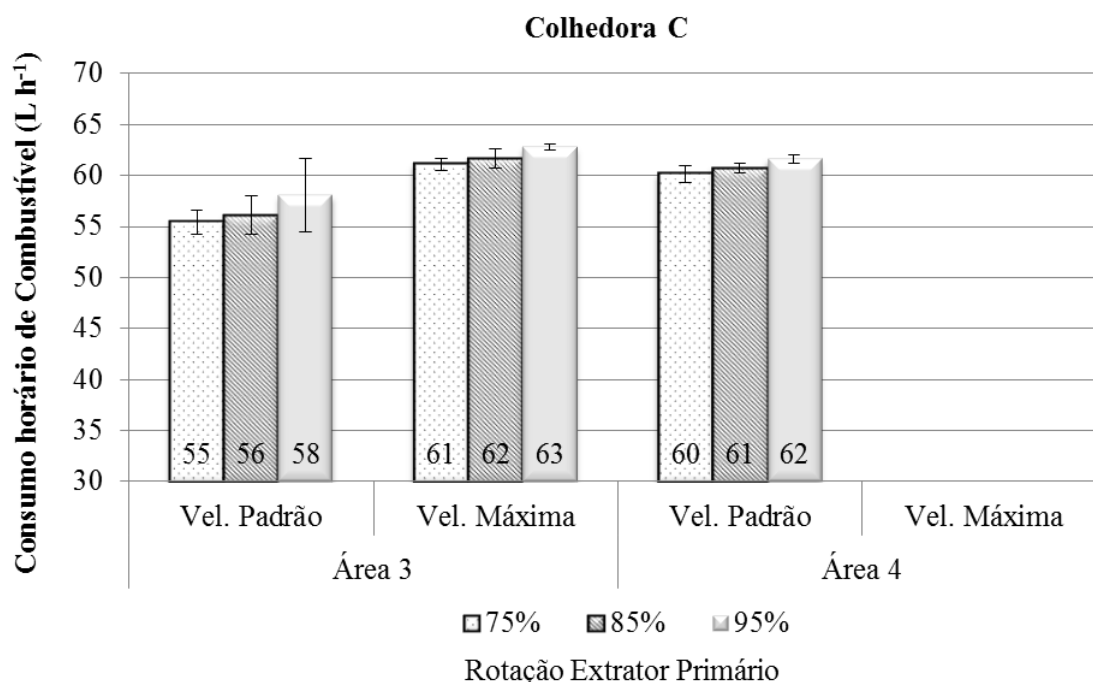
de material vegetal. Na área 1, ao realizar a colheita na máxima velocidade, a colhedora B consumiu cerca de  $68 \text{ L h}^{-1}$ , representando aumento de 47% de consumo de combustível em relação à velocidade padrão. Na área 2, o aumento de velocidade foi responsável por acréscimo de até 11% no consumo de combustível, enquanto que a colheita na máxima velocidade nesta área consumiu a mesma quantidade de combustível que na área 1.



**Figura 39.** Consumo horário de combustível em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

Os resultados obtidos com a colhedora B na máxima velocidade de colheita foram semelhantes aos encontrados por Ramos et al. (2016) ao utilizar colhedora de igual modelo, em que obtiveram consumo horário próximos de  $68 \text{ L h}^{-1}$  ao trabalhar à  $5,5 \text{ km h}^{-1}$  e superiores aos  $64 \text{ L h}^{-1}$  encontrados por Belardo (2010) à  $7,0 \text{ km h}^{-1}$ .

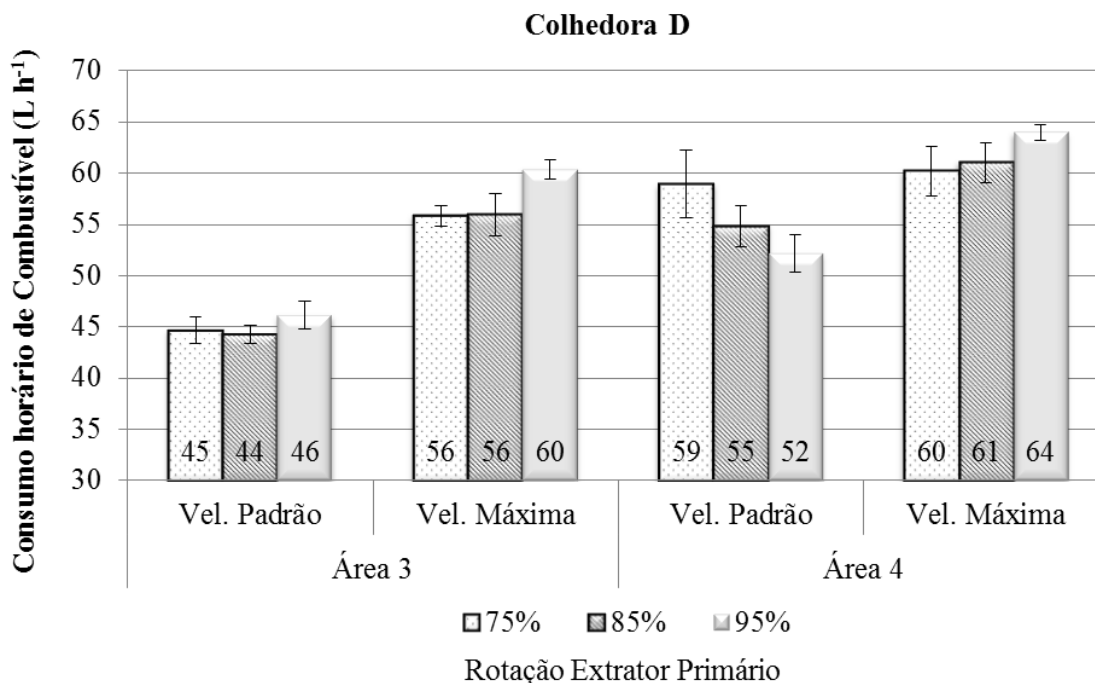
A colhedora C (Figura 40) obteve de 55 a  $58 \text{ L h}^{-1}$  de consumo horário de combustível ao realizar colheita na velocidade padrão na área 3, tendo este regime acrescido para cerca de  $62 \text{ L h}^{-1}$  ao aumentar a velocidade de colheita para a máxima alcançada ou ao colher a área 4, de maior produtividade, representando acréscimo de aproximadamente 10% de consumo.



**Figura 40.** Consumo horário de combustível em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Belardo (2010) onde no ensaio realizado a  $5,0 \text{ km h}^{-1}$  com colhedora de modelo semelhante, a mesma consumiu  $57 \text{ L h}^{-1}$ , enquanto à  $7,0 \text{ km h}^{-1}$  os autores obtiveram consumo horário próximo de  $60 \text{ L h}^{-1}$ . Lyra (2012) ao avaliar o mesmo modelo de colhedora em diferentes faixas de velocidade de colheita verificou consumo de  $55 \text{ L h}^{-1}$  entre 5 e  $6 \text{ km h}^{-1}$ ,  $57 \text{ L h}^{-1}$  trabalhando entre 6 e  $7 \text{ km h}^{-1}$  e  $60 \text{ L h}^{-1}$  ao realizar colheita em velocidade de deslocamento entre 7 e  $8 \text{ km h}^{-1}$ , confirmando o aumento de consumo horário de combustível quando eleva-se a velocidade de colheita.

A colhedora D (Figura 41) ao realizar a colheita na área 3, na velocidade padrão de colheita, consumiu cerca de  $45 \text{ L h}^{-1}$  de combustível, enquanto na máxima velocidade nesta área, consumiu em torno de  $56 \text{ L h}^{-1}$ , representando acréscimo de 24% no consumo horário de combustível. Já na área 4, o consumo de combustível na velocidade padrão de colheita variou entre 52 e  $59 \text{ L h}^{-1}$ , enquanto na máxima velocidade esteve entre 60 e  $64 \text{ L h}^{-1}$ .



**Figura 41.** Consumo horário de combustível em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

Portanto, em todas as colhedoras, o aumento do consumo horário de combustível foi resultante principalmente das influências tanto da velocidade de colheita, como da produtividade do canavial. Na maioria dos tratamentos também foi observado leve aumento no consumo de combustível horário em função do aumento da rotação do extrator primário, contudo nem sempre apresentando diferenças estatísticas.

O consumo horário de combustível de todas as colhedoras apresentou relação com a colheitabilidade, principalmente em função da produtividade agrícola, onde observou-se que quando há maior produtividade, maior foi o consumo horário. Além deste fator, não foi observada influência dos diferentes índices de colheitabilidade no consumo horário de combustível.

Para Banchi et al.(2012) o consumo horário de combustível pode dar a falsa impressão de vantagem ao ser diminuído ao longo da safra, porém, quando se analisa o consumo por tonelada colhida, tem-se uma realidade contrária.

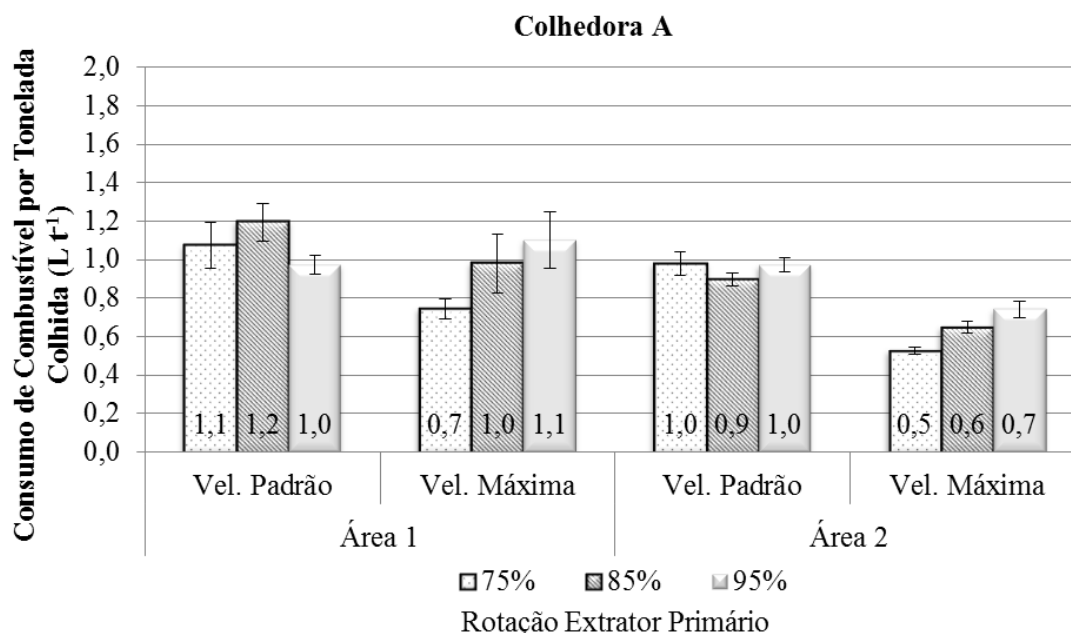
Este comportamento ocorre devido ao valor médio de consumo de combustível horário que é considerado, pois com o decorrer da safra e o aumento da quantidade de quebras e manutenções realizadas, o número de horas de colheita efetiva

diminui, diminuindo assim a média do consumo horário das colhedoras. Consequentemente, o consumo por tonelada colhida se eleva, pois há redução da quantidade de cana-de-açúcar colhida.

### 4.3 Consumo de combustível por tonelada colhida

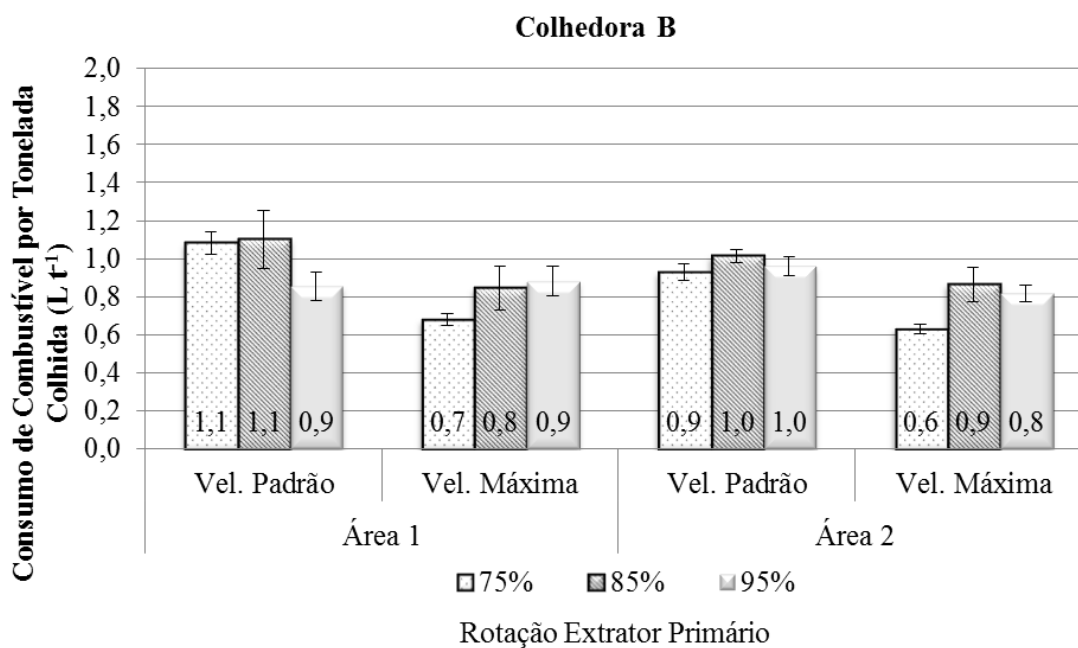
Analisando os resultados de consumo de combustível por tonelada colhida, observa-se comportamento contrário ao observado no consumo horário, ou seja, à medida que aumentou-se a velocidade de colheita da padrão para a máxima, houve redução do consumo por tonelada colhida, principalmente na área 2 (Figura 42).

Os tratamentos com velocidade padrão apresentaram consumo de combustível por tonelada variando entre 0,9 e 1,2 L t<sup>-1</sup> e não diferiram entre si, excetuando-se o tratamento com 75% da rotação do extrator primário na velocidade máxima de colheita na área 1, que consumiu 0,7 L t<sup>-1</sup>. Na área 2 os tratamentos com velocidade padrão foram diferentes dos tratamentos com velocidade máxima e apresentaram maior consumo por tonelada de cana-de-açúcar colhida, em torno de 1,0 L t<sup>-1</sup> contra 0,6 L t<sup>-1</sup>, respectivamente.



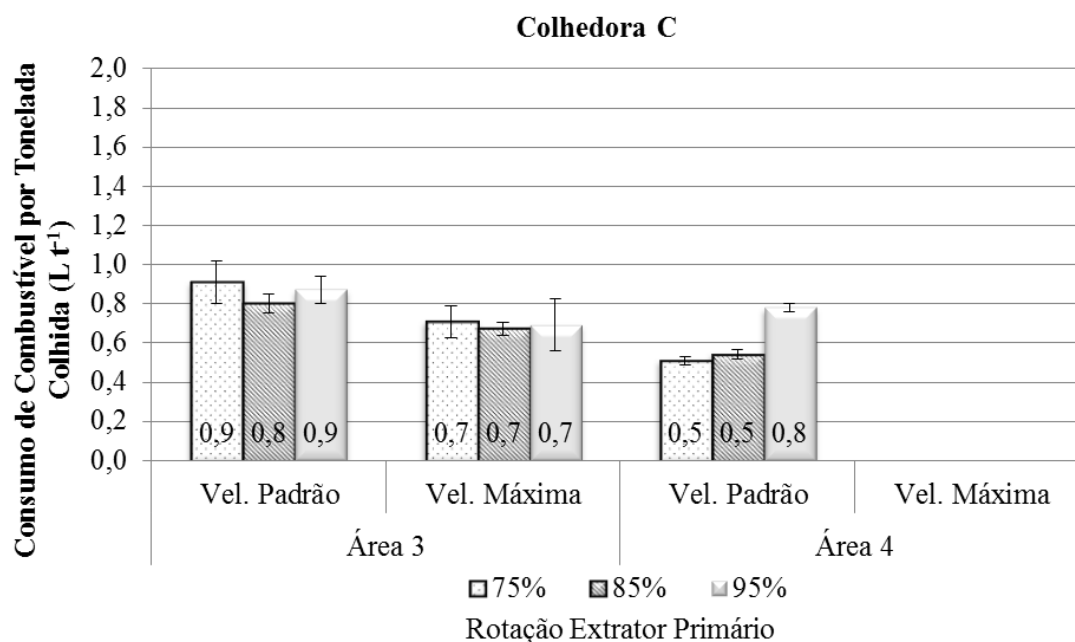
**Figura 42.** Consumo de combustível por tonelada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

A colhedora B (Figura 43) obteve consumo por tonelada semelhante à colhedora A, sendo que os tratamentos na área 1, com velocidade padrão, consumiram entre 0,9 e 1,1 L t<sup>-1</sup> de combustível e na velocidade máxima de colheita, entre 0,7 e 0,9 L t<sup>-1</sup>. Já na área 2 os tratamentos com velocidade padrão apresentaram maior consumo por tonelada de cana-de-açúcar colhida, em torno de 1,0 L t<sup>-1</sup> contra um consumo variando entre 0,6 e 0,9 L t<sup>-1</sup> dos tratamentos de máxima velocidade.



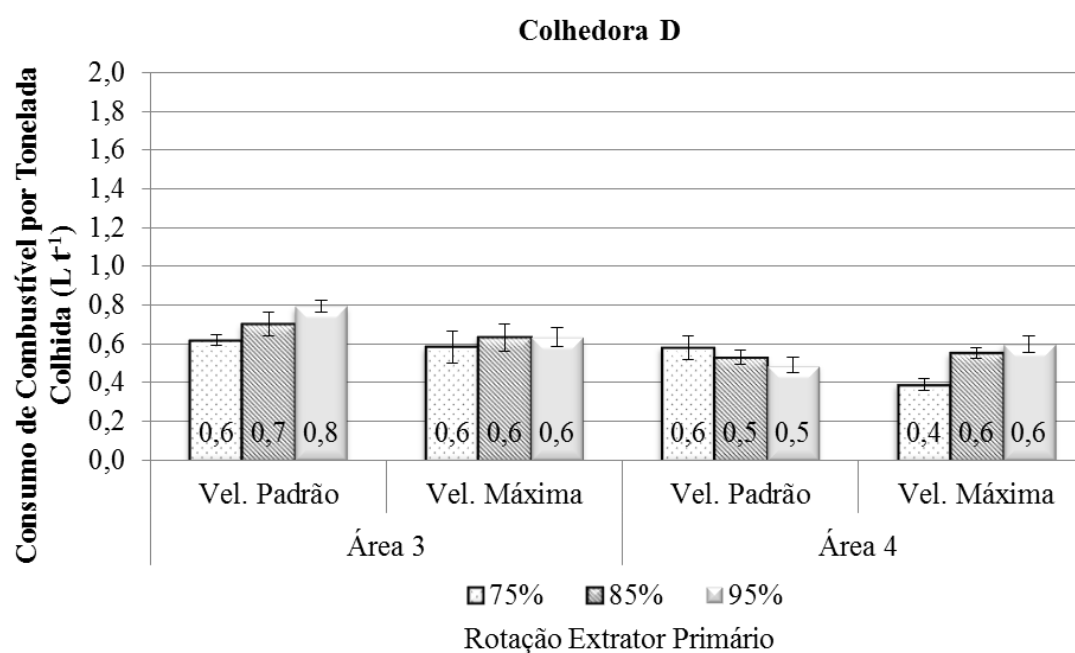
**Figura 43.** Consumo de combustível por tonelada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

Ao observar os resultados da colhedora C (Figura 44), verificou-se que na área 1, em velocidade padrão de colheita, variou em torno de 0,9 L t<sup>-1</sup>, enquanto na máxima velocidade obteve 0,7 L t<sup>-1</sup>. Já na área 2, o consumo variou entre 0,5 e 0,8 L t<sup>-1</sup>. Esta redução de consumo de combustível em relação à colhedora A pode ser atribuída à maior produtividade média encontrada nos talhões das áreas 3 e 4, quando comparada à produtividade encontrada nos talhões das áreas 1 e 2 onde a referida colhedora realizou a colheita dos seus tratamentos.



**Figura 44.** Consumo de combustível por tonelada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Os resultados da colhedora D (Figura 45) apresentaram as menores variações de consumo de combustível por tonelada colhida, independente da condição de velocidade de colheita ou área, apresentando valores em torno de  $0,6 \text{ L t}^{-1}$ , sendo os menores dentre todas as colhedoras avaliadas no experimento.



**Figura 45.** Consumo de combustível por tonelada em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

Em todas as colhedoras analisadas, observou-se que o consumo de combustível por tonelada colhida é uma função entre o consumo horário e a capacidade de colheita, portanto, como estes são influenciados principalmente por velocidade de trabalho e produtividade do canavial, o resultado do consumo de combustível por tonelada será resultante da interação destes fatores, independente da colheitabilidade encontrada no momento da colheita.

Segundo Belardo (2010), Schmidt Junior (2011) e Lyra (2012), o consumo de combustível é influenciado pela velocidade da colhedora, sendo que quanto maior a velocidade, maior será o consumo de combustível horário e menor será o consumo por tonelada colhida.

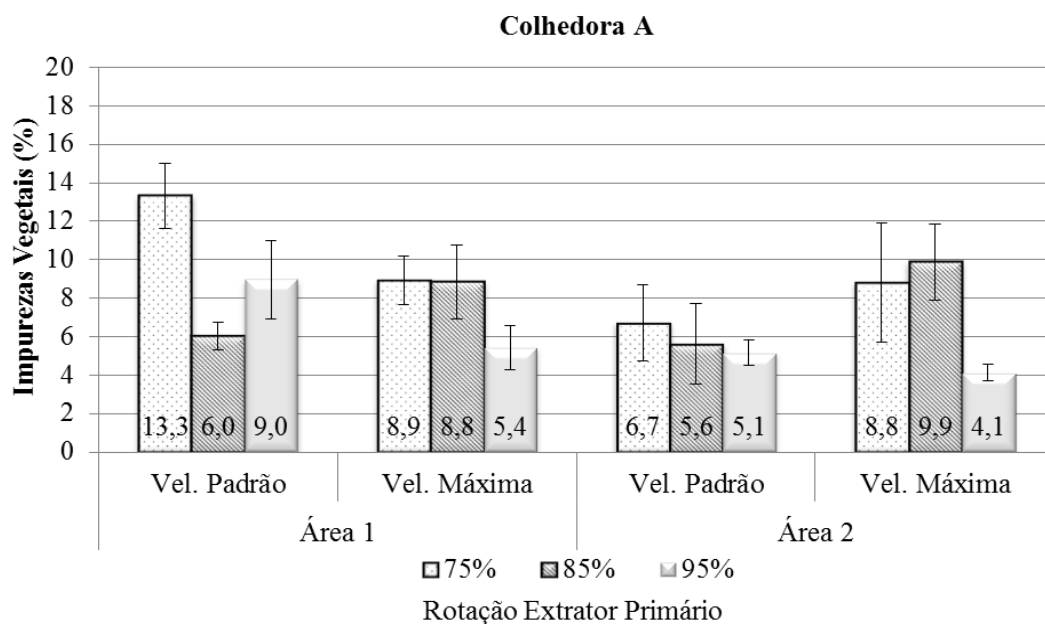
Conforme Ramos et al. (2016), tal resultado está relacionado com a velocidade de trabalho e a consequente capacidade de colheita, já que com o aumento de velocidade colhe-se mais cana-de-açúcar, exigindo mais da máquina e fazendo com que seu consumo horário aumente, em contrapartida, como colhe-se mais, o consumo por tonelada diminui.

## **4.5 Qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar**

### **4.5.1 Impurezas vegetais na matéria-prima colhida**

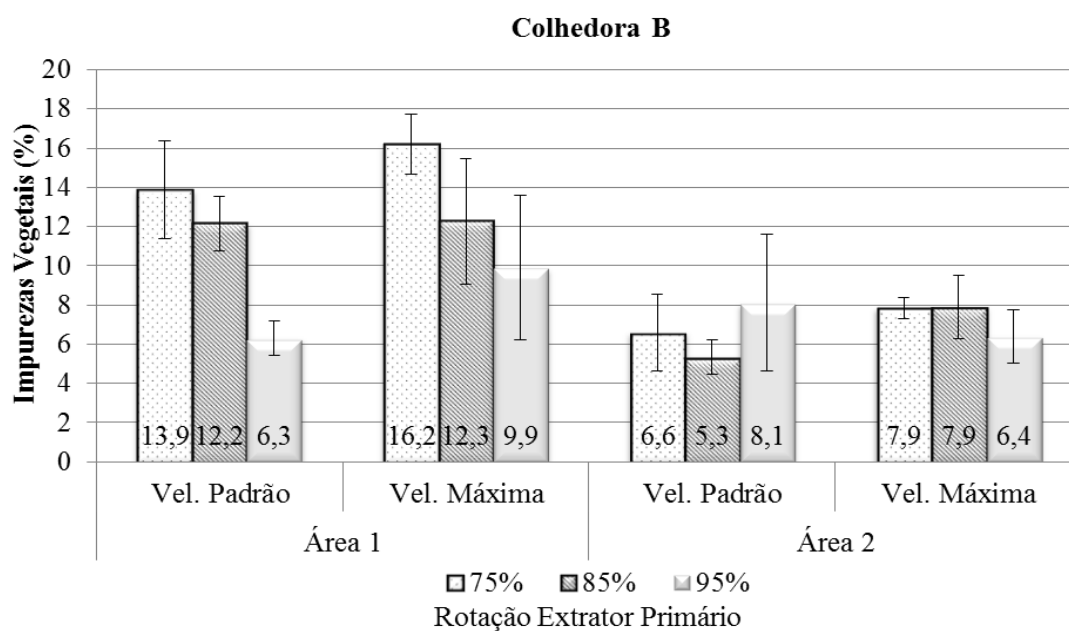
Na Figura 46 são apresentados os resultados obtidos para presença de impurezas vegetais junto à carga colhida. Observa-se que em praticamente todas as condições de velocidade de colheita ou área, há certa redução na presença de impurezas vegetais, embora nem sempre haja diferenças estatísticas. Além disso, foi observado que com o aumento da velocidade de colheita ou com a mudança para área de maior produtividade, houve redução da quantidade de impurezas vegetais que foi levado junto à carga.





**Figura 46.** Impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

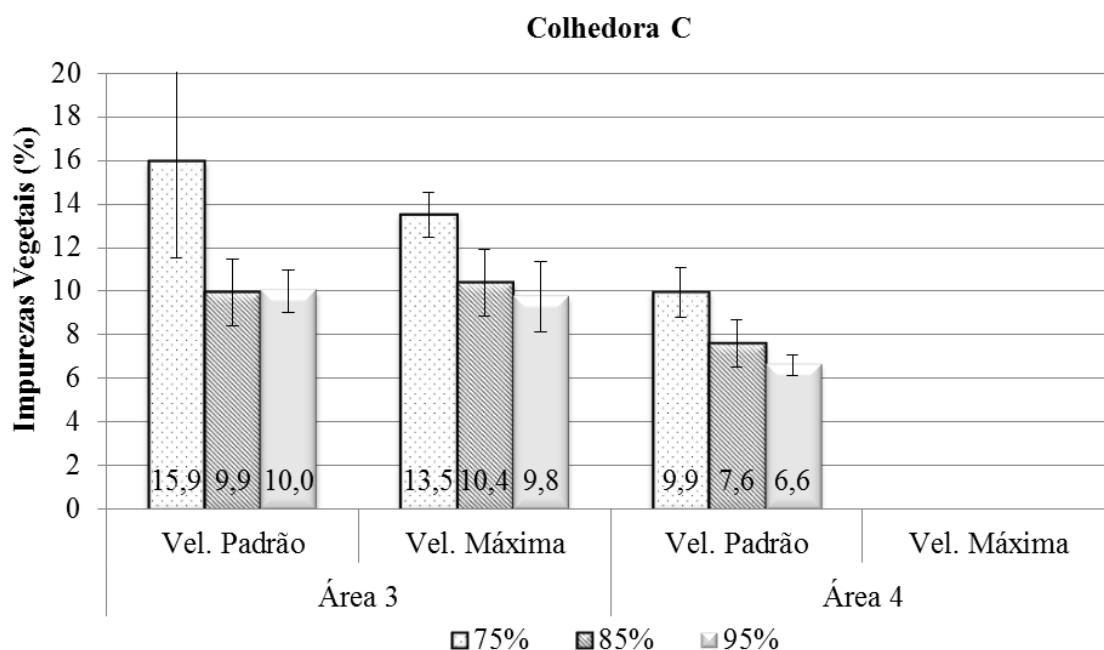
Assim como observado com a colhedora A, os resultados encontrados de impurezas vegetais dos tratamentos colhidos com a colhedora B (Figura 47) indicam que o aumento da velocidade de colheita ou da produtividade do talhão resultou em menor quantidade de impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida.



**Figura 47.** Impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

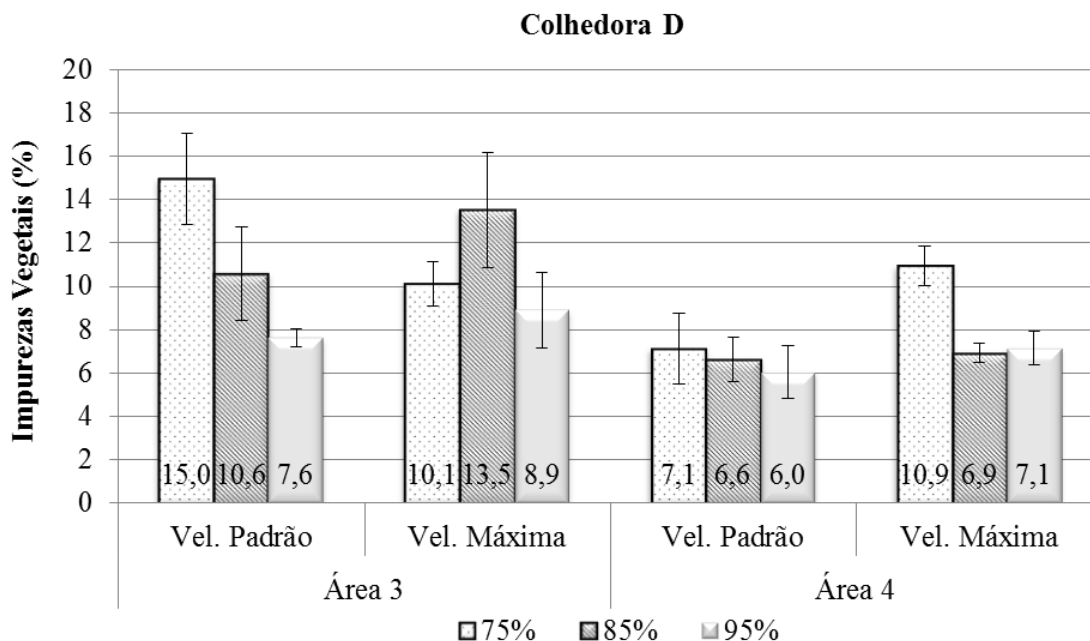
Os resultados encontrados neste trabalho, principalmente na área de baixa produtividade, foram superiores aos resultados de impurezas vegetais encontrados por Furlani Neto (1995) de 8,1%, Cenicaña (1997) de 8,3%, Belardo (2010) entre 5 a 7,39%, De León (2000) entre 5,16 e 7,84% e Molina Júnior et al. (2001) entre 6,17 e 7,58%, onde foram avaliadas velocidades semelhantes.

A partir dos resultados da colhedora C nas áreas 3 e 4 (Figura 48), também foi observado que com o aumento da velocidade de colheita ou com a mudança para área de maior produtividade, houve redução da quantidade de impurezas vegetais. Assim como também foi verificada redução na presença de impurezas quando aumentou-se a rotação do extrator primário.



**Figura 48.** Impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Os resultados encontrados para os tratamentos colhidos com a colhedora D (Figura 49) também indicam que o aumento da velocidade de colheita ou da produtividade do talhão resultou em menor quantidade de impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida.



**Figura 49.** Impurezas vegetais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

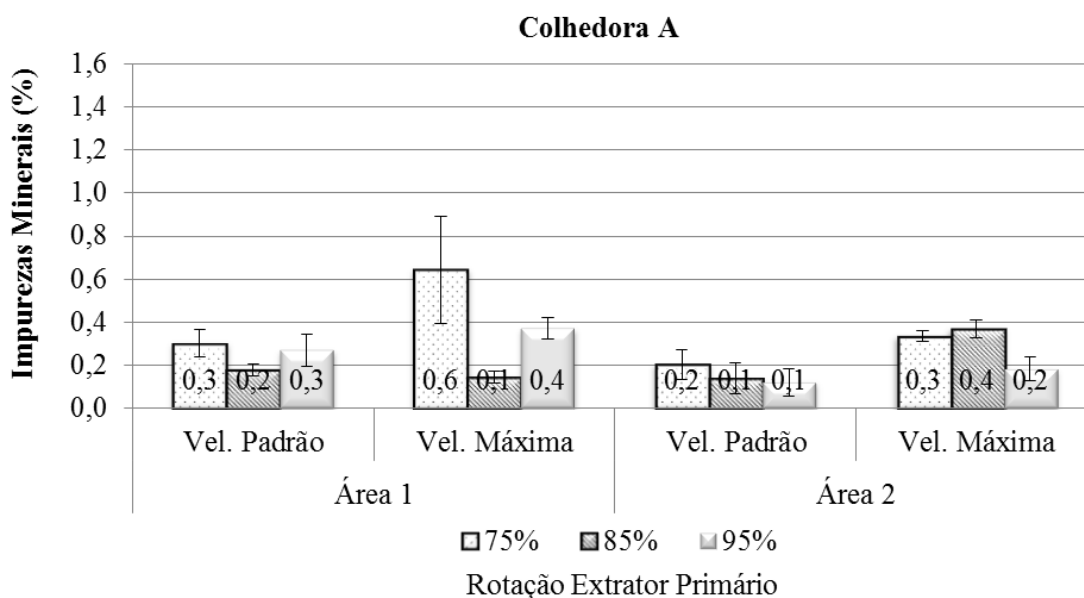
Quanto maior a produtividade agrícola sabe-se que há maior quantidade de material vegetal que a colhedora deve processar, contudo, apesar disso, observou-se que em para todas as colhedoras, o aumento da produtividade agrícola resultou em menor presença de impurezas vegetais junto à carga.

Ao analisar estes resultados, supõe-se que a maior quantidade de colmos presentes na linha de colheita favorece a picagem da palha e folhas (impureza vegetal) ao ser recolhidos pela máquina, resultando em maior extração destas impurezas pelo sistema de limpeza das colhedoras, resultando em menor presença das mesmas junto à carga colhida. Em contrapartida, quando há baixa produtividade agrícola e, conseqüentemente, menor quantidade de colmos passando no sistema de alimentação das máquinas, as folhas verdes e palha não são eficientemente picadas pelos rolos picadores, não sendo extraídas pelos extratores primário e secundário e, portanto, aumentando os índices de impurezas vegetais presentes no transbordo.

Seguindo a classificação CTC, os resultados encontrados apresentaram níveis altos em praticamente todos os tratamentos. Os valores encontrados neste trabalho foram semelhantes aos resultados obtidos por Schmidt Junior (2011) que obteve entre 10 e 15% de impurezas vegetais.

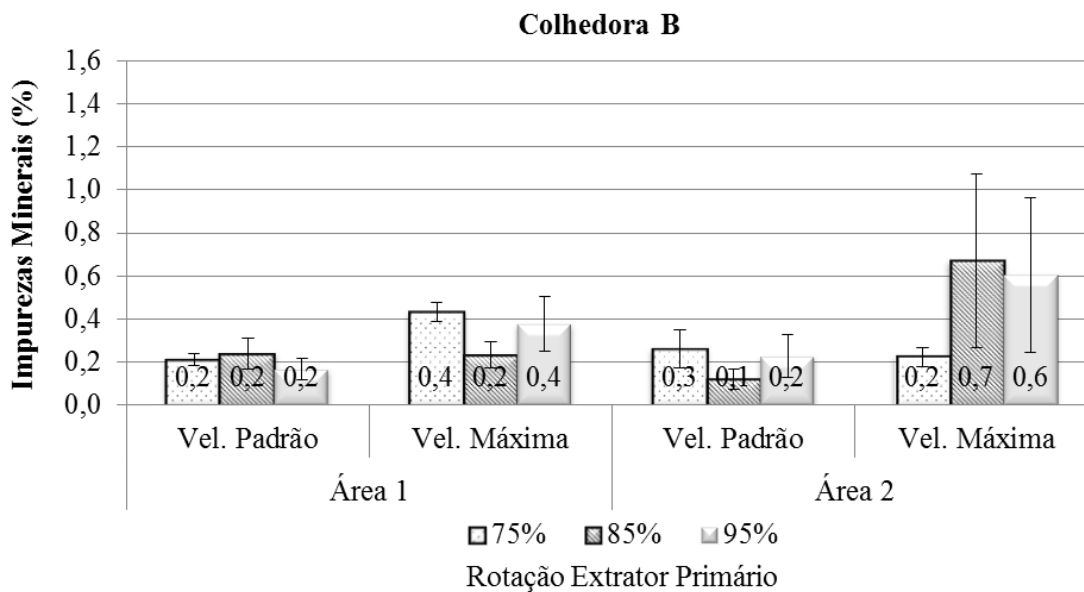
#### 4.5.2 Impurezas minerais na matéria-prima colhida

Na Figura 50 estão apresentados os resultados de impurezas minerais dos tratamentos colhidos nas área 1 e 2 do ensaio, onde observa-se que em alguns casos, houve aumento da quantidade de impurezas mineiras junto à carga em função do aumento da velocidade de colheita, embora nem sempre tenha sido verificada diferença estatística, devido principalmente a variabilidade dos resultados.



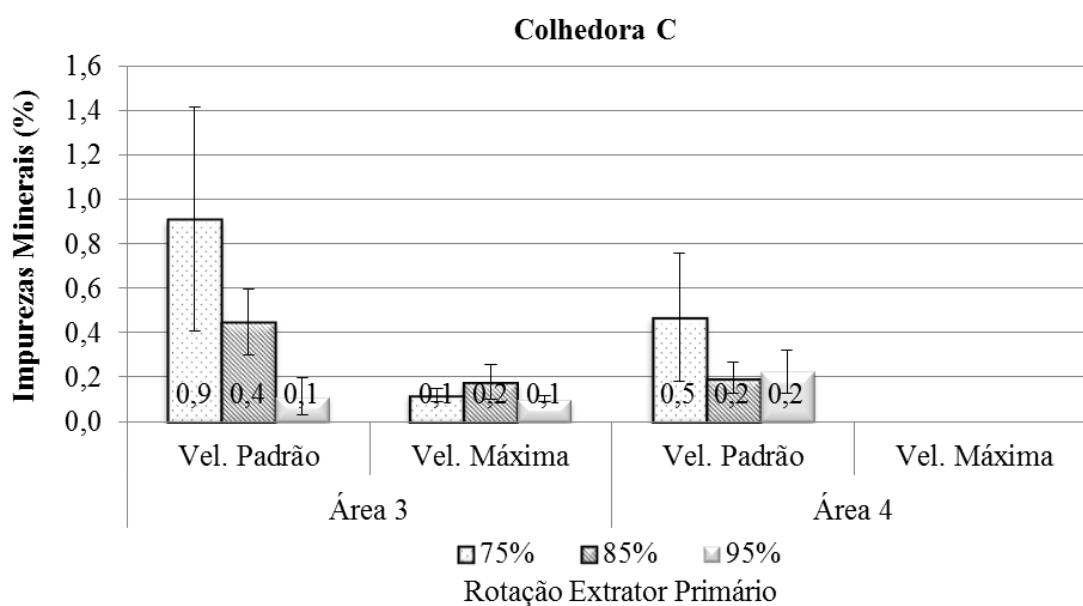
**Figura 50.** Impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

Os resultados obtidos para impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida pela colhedora B (Figura 51) não apresentaram grande variabilidade entre os tratamentos, excetuando-se os tratamentos com 85 e 95% de rotação no extrator primário aplicados na máxima velocidade de colheita na área 2. Observa-se que os resultados apresentaram baixa presença de impurezas minerais, mesmo quando trabalhou-se com a máxima velocidade de colheita na área 1, onde foi encontrado piores resultados de índice de colheitabilidade.



**Figura 51.** Impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

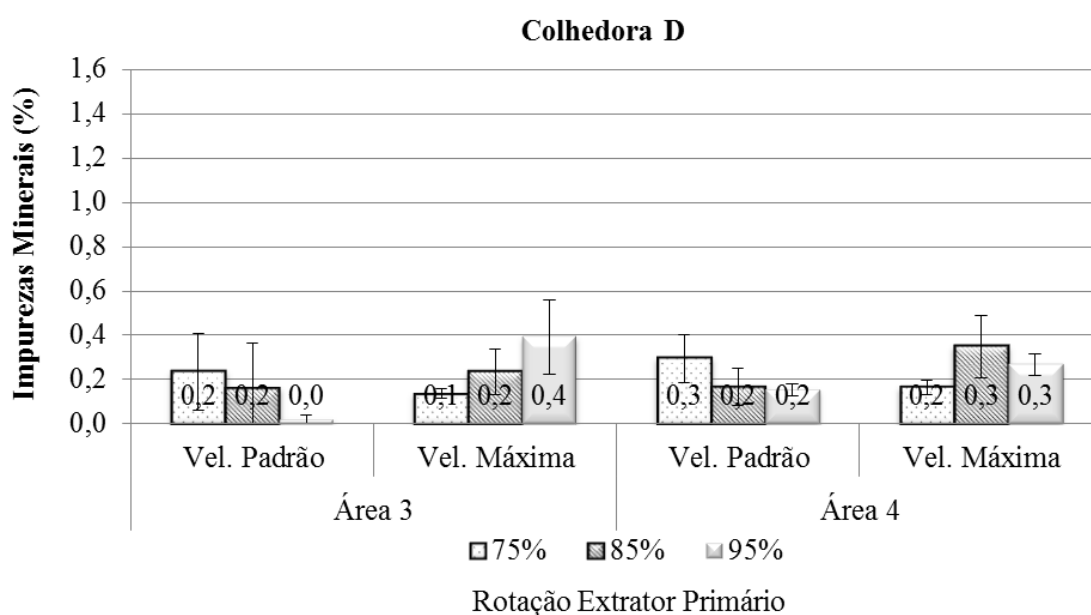
Utilizando a colhedora C nas áreas 3 e 4 (Figura 52), foi observado que o aumento da velocidade de colheita ou a mudança para área de maior produtividade, não houve alteração na quantidade de impurezas minerais, sendo que os tratamentos que apresentaram menor presença de impurezas foram os que de máxima velocidade de colheita na área 3.



**Figura 52.** Impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Devido à alta variabilidade encontrada entre as repetições, não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos que apresentaram os piores resultados de impurezas minerais, mesmo estando em áreas com diferentes índices de colheabilidade.

Os resultados para os tratamentos aplicados utilizando a colhedora D (Figura 53) não apresentaram diferenças entre si em todos os tratamentos e além disso, os resultados apresentaram baixa variabilidade. Tal comportamento pode ser atribuído ao sistema automático de regulagem de altura do corte de base, que neste modelo de colhedora é o mais novo sistema dentre todas as colhedoras utilizadas no experimento.



**Figura 53.** Impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

Os valores encontrados nesse trabalho foram semelhantes aos obtidos por Schmidt Junior (2011), que encontrou impurezas minerais entre 0,29 e 0,41%, 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, assim como 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 superiores aos encontrados neste trabalho.

Não se pode afirmar, pois a alta variabilidade nos resultados e falta de significância estatística não comprovaram, porém há indícios que a baixa rotação do extrator primário (75%) nas colhedoras A e C (mesmo modelo) pode contribuir na deficiência da limpeza do material colhido, podendo resultar em maior presença de impurezas tanto vegetais como minerais, pois ao analisar os resultados, observa-se que quando as rotações do extrator estiveram com 85% ou 95% da sua máxima velocidade disponível, na maioria dos casos houve menores índices de impurezas minerais presentes na matéria-prima colhida.

Ao confrontar os resultados encontrados de impurezas minerais com o índice de colheitabilidade das respectivas parcelas experimentais, observa-se que ambos não apresentaram relação significativa, podendo este fato ser atribuído à baixa variabilidade entre os índices de colheitabilidade encontrado entre as parcelas, ou seja, os resultados obtidos nas áreas ou parcelas experimentais colhidas durante este experimento, as quais apresentaram índices de colheitabilidade com pequena diferença entre si, não foram capazes de trazer afirmações com relação à quantidade de impurezas minerais junto à matéria-prima colhida.

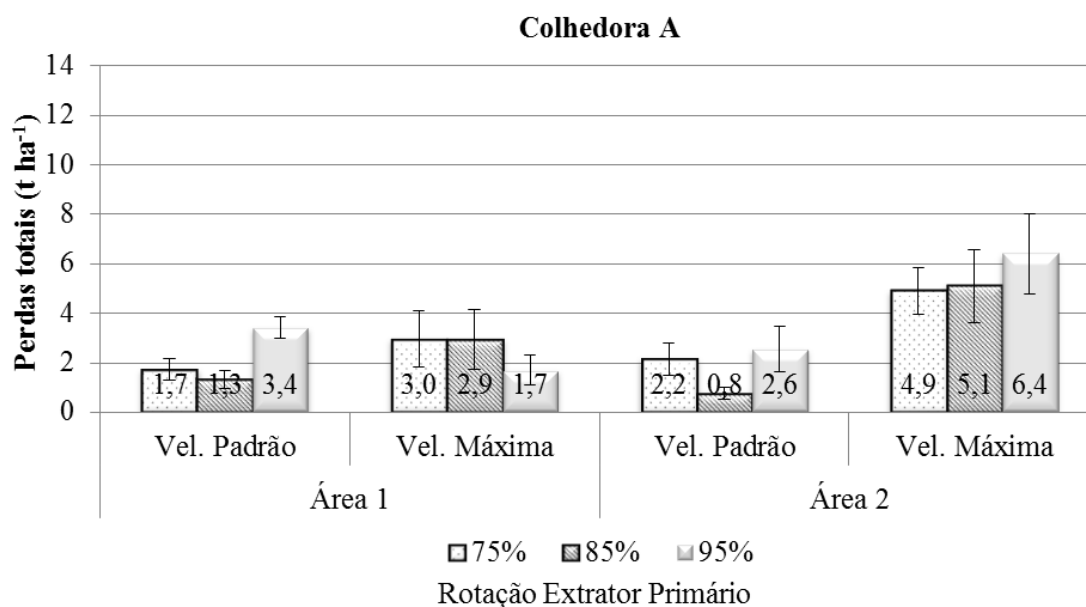
### **4.5.3 Perdas de matéria-prima**

#### **4.5.3.1 Perdas totais ( $t\ ha^{-1}$ )**

Ao analisar as perdas de matéria-prima dos tratamentos, observa-se que há uma alta variabilidade dos resultados, levando muitas vezes a não verificação de diferença estatística. Observando os resultados em função das diferentes rotações do extrator primário, verificou-se que não há diferença estatística entre praticamente todos os tratamentos quando foram aplicados na mesma condição de área ou velocidade de colheita, contudo a interação entre velocidade máxima de colheita e alta produtividade agrícola causou aumento das perdas totais de cana-de-açúcar.

Na Figura 54, excetuando-se os tratamentos com 95% da rotação do extrator primário na área 1, observa-se que a velocidade de colheita influenciou nas perdas totais, em ambas as áreas, resultando em maiores perdas de cana-de-açúcar quando se realizou a colheita na máxima velocidade. Na área 2, todos os tratamentos aplicados

utilizando a máxima velocidade de colheita resultaram em maiores perdas de cana-de-açúcar.



**Figura 54.** Perdas totais de matéria-prima (t ha<sup>-1</sup>) em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

Os resultados deste trabalho foram semelhantes aos encontrados por Neves et al. (2004), o qual constatou que ocorreram maiores perdas em maior velocidade de deslocamento e estiveram próximos aos observados por Segato e Daher (2011) em que as perdas foram de 2,8 t ha<sup>-1</sup> para a menor velocidade e de 4,1 t ha<sup>-1</sup> para a maior velocidade de deslocamento. Segundo Benedini e Silva (2010), valores próximos de 3 a 4 toneladas por hectare são consideráveis aceitáveis.

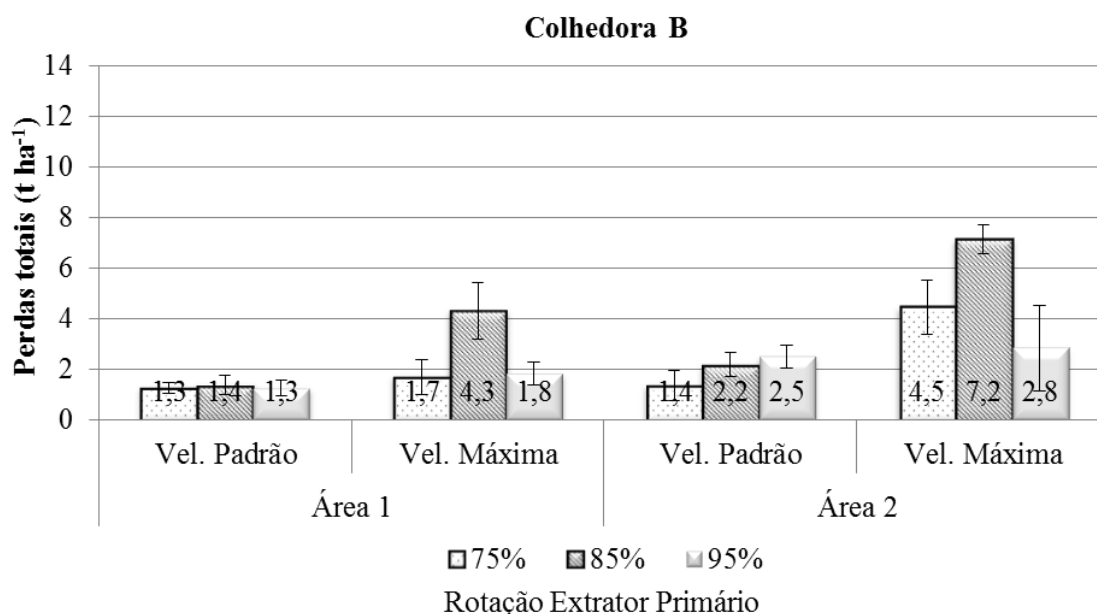
Apesar da área 2 apresentar melhor índice de colheitabilidade, as principais diferenças nos resultados de perdas foram encontradas para os tratamentos de alta velocidade de colheita, indicando que esta condição tem maior influência nas perdas de matéria-prima.

Os resultados das perdas encontradas nos tratamentos colhidos com a colhedora B estão ilustrados na Figura 55, onde observa-se aumento das perdas com o aumento de velocidade na área 1, principalmente no tratamento com 85% de rotação no extrator primário, enquanto nos demais, apesar de valores maiores de perdas, estes não foram diferentes estatisticamente dos tratamentos com velocidade padrão.



Com o aumento de produtividade da área 1 para a 2, verificou-se aumento das perdas tanto na velocidade padrão de colheita, como na velocidade máxima, no entanto a variabilidade dos resultados foi grande, o que em alguns casos resultou na similaridade estatística, mesmo com valores bastante distintos.

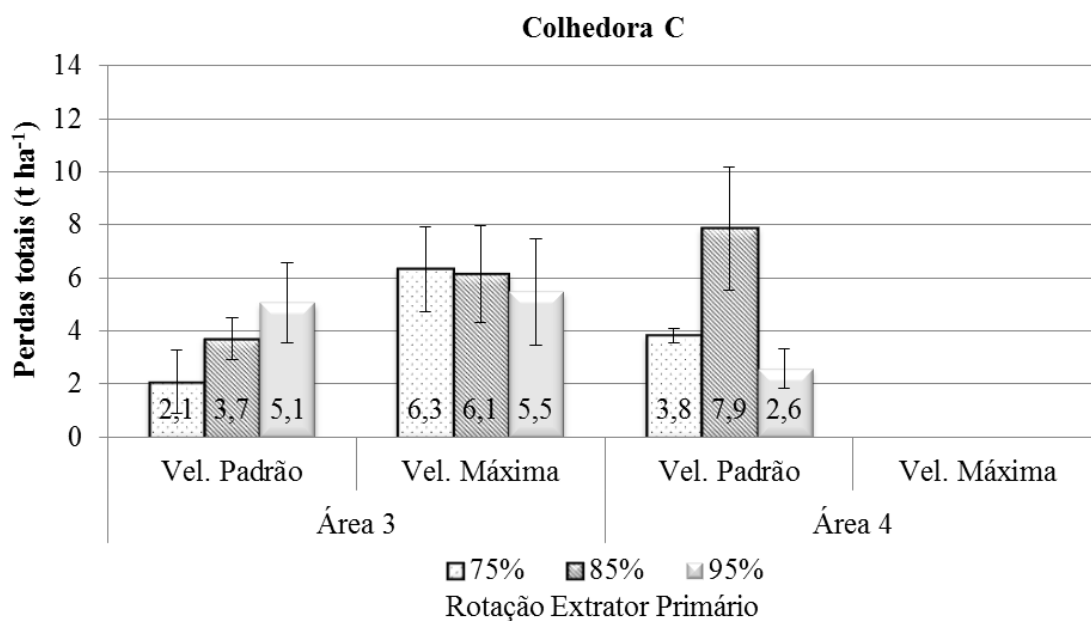
Ao observar os resultados de perdas na máxima velocidade com 85% da rotação do extrator primário em ambas as áreas, constatou-se que as parcelas experimentais onde estes tratamentos foram aplicados apresentaram os piores índices de colheabilidade dentre as demais parcelas nas respectivas áreas.



**Figura 55.** Perdas totais de matéria-prima ( $t\ ha^{-1}$ ) em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

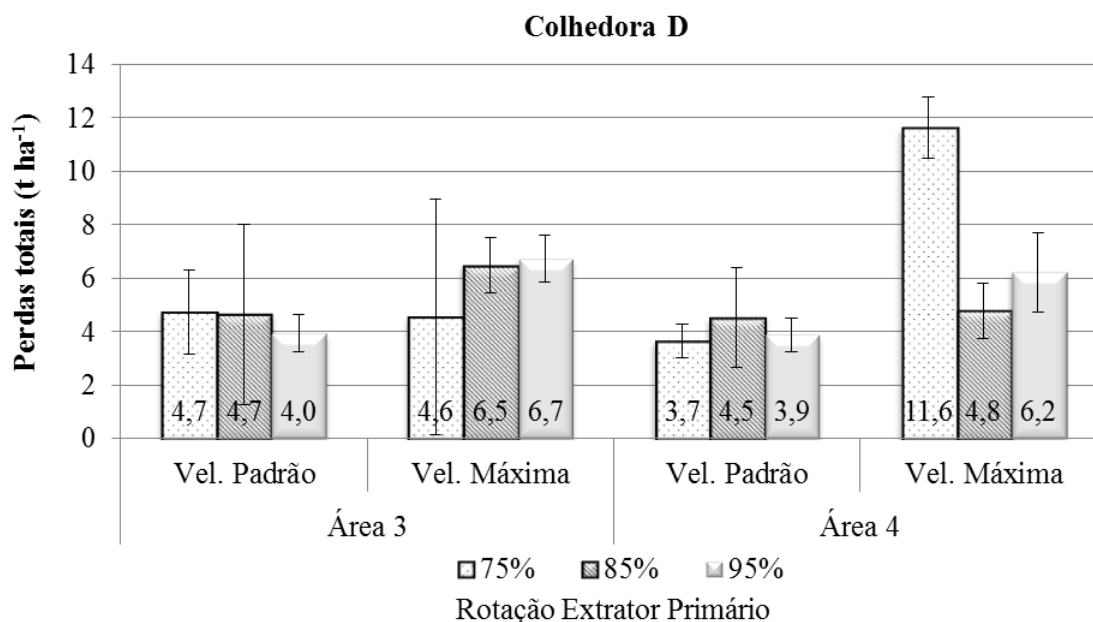
Ao analisar os resultados de perdas em toneladas por hectare de ambas as colhedoras que realizaram a colheita nas áreas 1 e 2, observou-se que mesmo possuindo melhor índice de colheabilidade, as perdas nas parcelas colhidas na área 2 foram maiores que na área 1, independentemente da colhedora utilizada ou da velocidade de trabalho, portanto constatou-se que as perdas em massa de matéria-prima são maiores em áreas de maior produtividade agrícola, justamente pela maior quantidade de material vegetal presente por unidade de área e que, portanto, em condições normais de trabalho, as colhedoras apresentam naturalmente perdas de matéria-prima em função tanto das condições do canavial como da ação dos seus dispositivos mecânicos, onde em condições extremas como em alta velocidade, as perdas são aumentadas.

Ao analisar os resultados da colhedora C (Figura 56) nas áreas 3 e 4, observa-se que assim como nas áreas 1 e 2, o aumento da velocidade de trabalho resultou em maiores níveis de perdas de cana-de-açúcar. Os tratamentos na velocidade padrão na área 3 possuíram perdas variando entre 2,1 e 5,1 t ha<sup>-1</sup>, enquanto na máxima velocidade obtiveram-se perdas entre 5,5 e 6,3 t ha<sup>-1</sup>, porém diferenciando-se estatisticamente apenas entre os tratamentos que utilizaram 75% de rotação no extrator primário. Nos tratamentos de velocidade padrão na área 4, as perdas variaram entre 2,6 e 3,8 t ha<sup>-1</sup>.



**Figura 56.** Perdas totais de matéria-prima (t ha<sup>-1</sup>) em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

As perdas da colhedora D (Figura 57) na área 3 não apresentaram diferença estatística entre a maioria dos tratamentos na velocidade padrão e na máxima de colheita, tendo estes variado entre 4 e 6,7 t ha<sup>-1</sup>. Na área 4 houve redução das perdas nos tratamentos com velocidade padrão em relação ao resultados observado na área 3, porém sem haver diferença estatística. Na máxima velocidade, excetuando-se o tratamento com 75% de rotação no extrator primário, os resultados dos demais tratamentos foram semelhantes aos da área 3.

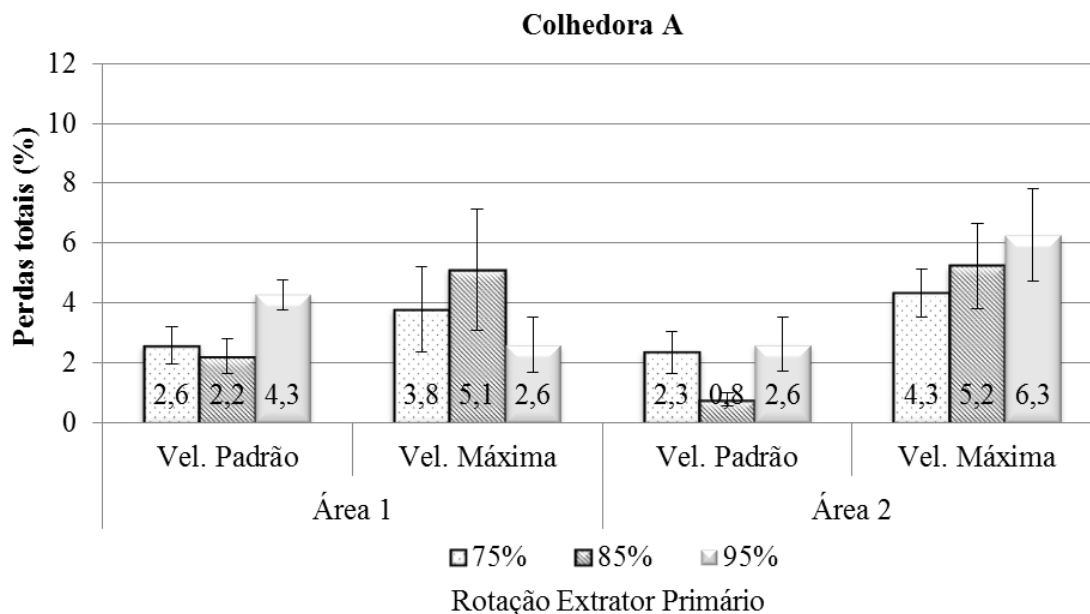


**Figura 57.** Perdas totais de matéria-prima (t ha<sup>-1</sup>) em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

#### 4.5.3.2 Perdas totais (%)

As perdas em percentual estão apresentadas na Figura 58, na qual é possível observar que as perdas na área 2 foram maiores na máxima velocidade de colheita quando comparadas à velocidade padrão. Observou-se ainda, que na velocidade padrão de colheita, o percentual de perdas obtido na área 2, foi menor que na área 1. Em função da alta variabilidade dos resultados, não houve diferença estatística entre as perdas na área 1 quando realizou-se a colheita na máxima velocidade.

Os resultados na máxima velocidade de colheita observados anteriormente (t ha<sup>-1</sup>) apresentaram aproximadamente o dobro de perdas de matéria-prima na área 2 quando comparada à área 1, contudo, ao serem mensurados em percentual, em função da produtividade encontrada, os resultados entre ambas as áreas praticamente igualaram-se. Neste caso, evidencia-se que embora encontre-se maior quantidade de perdas em valores absolutos (t ha<sup>-1</sup>), as áreas com maior produtividade agrícola geralmente apresentam resultados percentuais de perdas menores que áreas com menor produtividade agrícola.

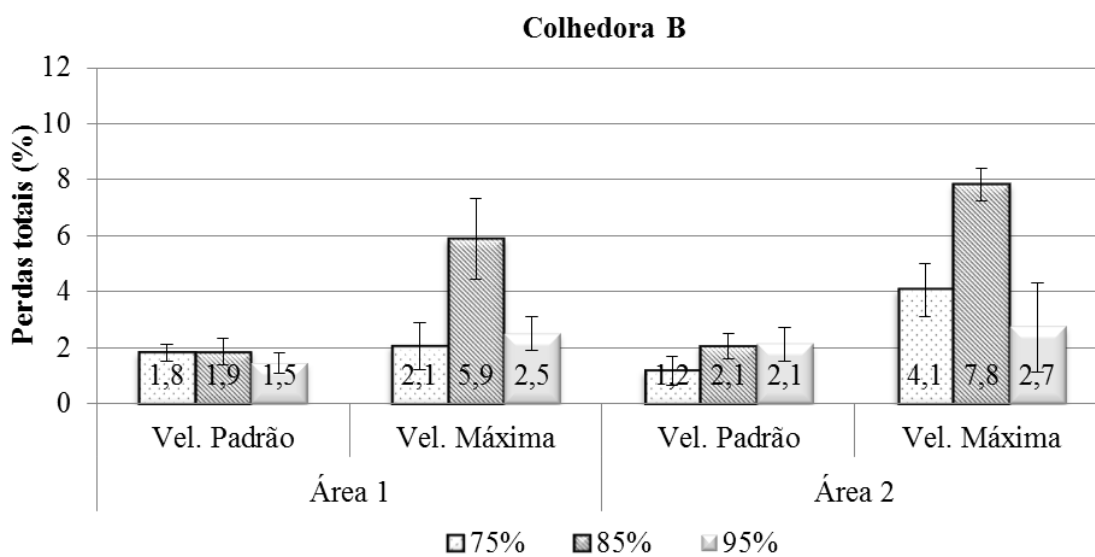


**Figura 58.** Perdas totais de matéria-prima em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

Ao analisar os resultados de perdas da colhedora B (Figura 59), observou-se novamente a influência da velocidade de colheita resultando em aumento das perdas no campo, principalmente na área 2, de maior produtividade agrícola média. Ao comparar os resultados na velocidade padrão de colheita, observa-se que as perdas que eram superiores na área 2 em relação à área 1 quando medidas em  $t\ ha^{-1}$ , tornam-se semelhantes e em alguns casos inferiores quando medidas em percentual.

A porcentagem de perdas visíveis foi semelhante entre a maioria dos tratamentos e segundo Benedini et al. (2009), é considerada de nível baixo, pois foi inferior a 2,5%, para os tratamentos com a menor velocidade de deslocamento, independente da área de colheita.

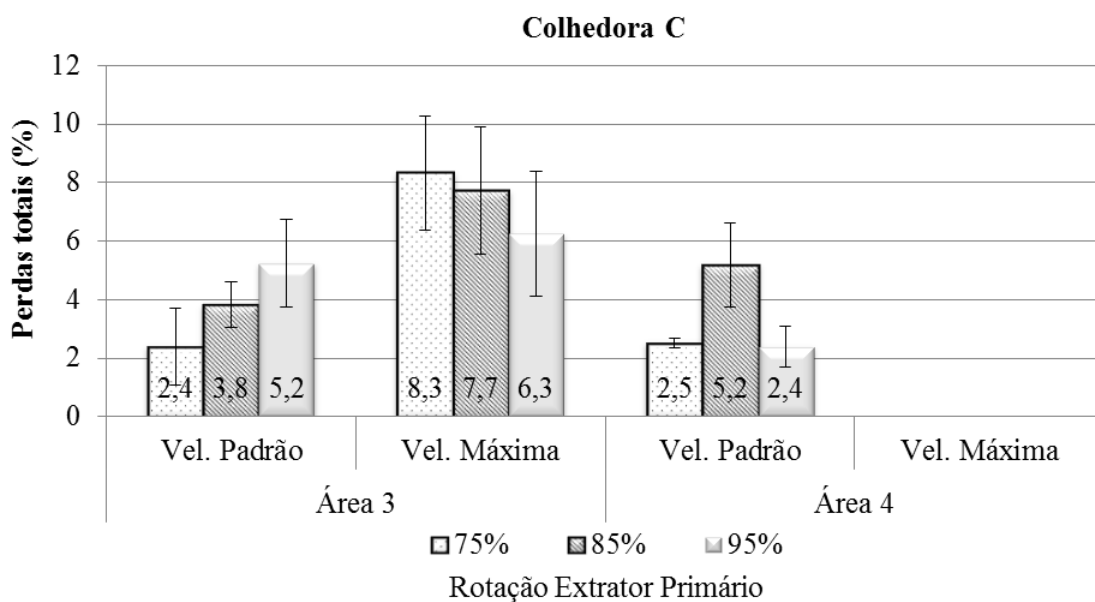
Os resultados obtidos nesse trabalho são menores que os valores encontrados por Nery (2000) de 9,9% e Romero et al. (1993) de 10 e 13% e tiveram variações semelhantes aos encontrados por Santos (2011), de 3 a 5%, Belardo (2010) entre 1,5 e 3,2%, Cenicaña (1997) de 3,65%, Mialhe e Carraro Neto (1993) 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%, trabalhando em velocidades de 5,5 a 8,0  $km\ h^{-1}$ .



Rotação Extrator Primário

**Figura 59.** Perdas totais de matéria-prima em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

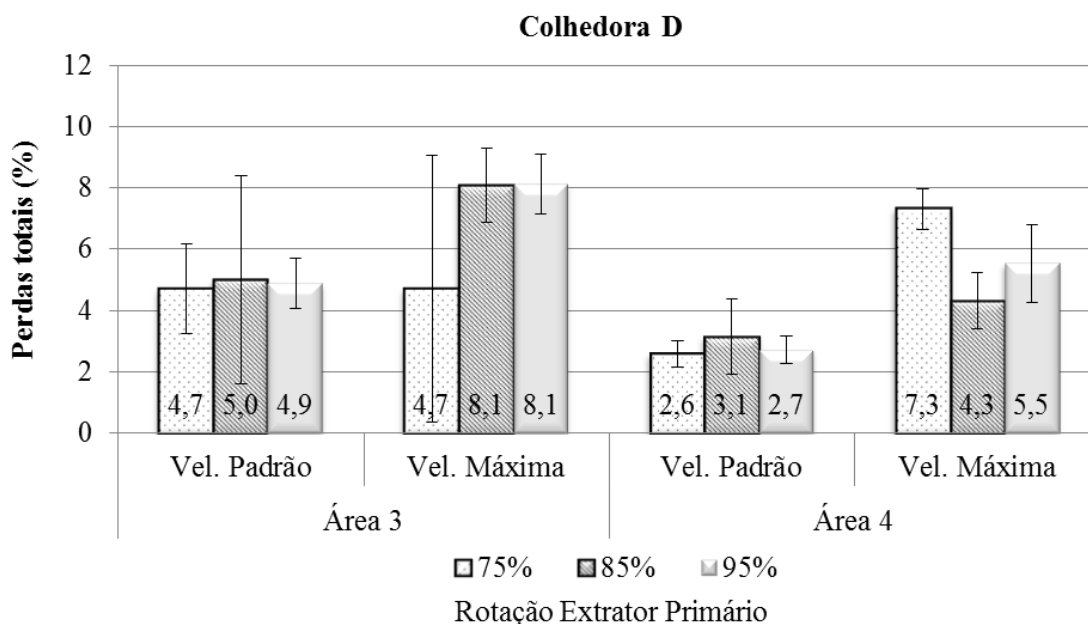
O mesmo comportamento pode ser observado nas áreas 3 e 4 com a colhedora C (Figura 60), onde observa-se que as perdas aumentaram com o aumento da velocidade na área 3. Já na área 4, as perdas na velocidade padrão de colheita foram semelhantes às de velocidade padrão da área 3.



**Figura 60.** Perdas totais de matéria-prima em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Portanto, ao comparar os resultados em  $t\ ha^{-1}$  visto anteriormente, as perdas na velocidade padrão da área 4 haviam dado superiores e estatisticamente diferentes, em alguns casos, em relação às perdas na velocidade padrão na área 3. Ao compará-las em percentual, observa-se que novamente a influência da alta produtividade praticamente igualou os resultados em ambas as áreas, indicando novamente que o aumento de produtividade entre os talhões colhidos pode resultar em menores perdas em percentual durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Ao analisar os resultados das perdas de matéria-prima durante a colheita em toneladas por hectare, os resultados em percentual obtidos dos tratamentos colhidos com a colhedora D (Figura 61) confirmam que, apesar de apresentarem maiores perdas em peso absoluto mensurado no campo, as áreas com maior produtividade agrícola proporcionam menores perdas em percentual quando comparadas às áreas com menor produtividade agrícola. Portanto, entende-se que a colheita mecanizada, independente da máquina utilizada apresenta perdas de matéria-prima em função das condições do local e da operação, contudo, principalmente em áreas de baixa produtividade, a operação deve buscar o máximo de eficiência e qualidade para que os níveis de perdas não sejam extremos e tornem os custos da colheita mecanizada ainda maiores.

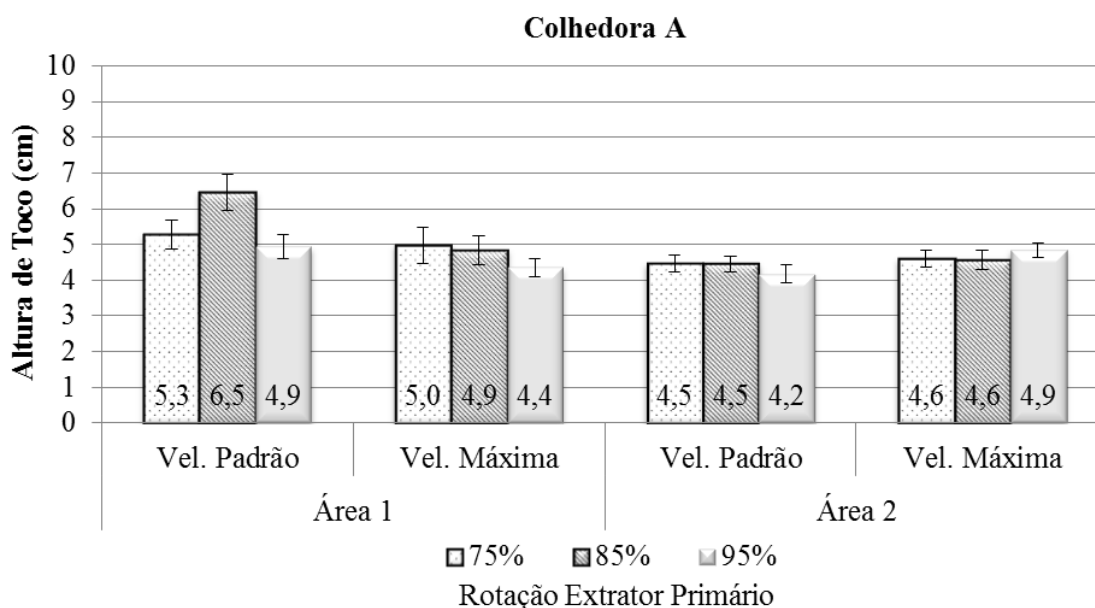


**Figura 61.** Perdas totais de matéria-prima em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

Observou-se que apesar do aumento da rotação do extrator primário, não foi verificada diferença estatística nas perdas de matéria-prima em função desta variação de configuração de trabalho, principalmente devido à alta variabilidade dos resultados obtidos.

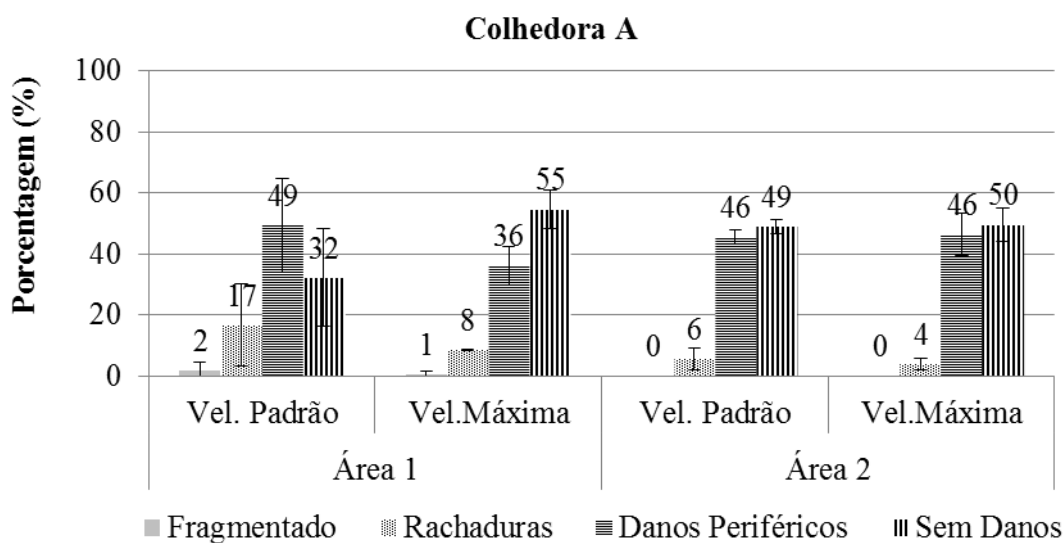
#### 4.5.4 Altura de toco e Abalo de Soqueira

Na Figura 62 estão apresentados os resultados de altura de toco dos tratamentos aplicados nas áreas 1 e 2. Observa-se que os resultados para altura do toco deixado na soqueira após a colheita apresentou baixa variabilidade, sendo praticamente todos os tratamentos iguais estatisticamente. Tal comportamento pode estar associado ao dispositivo automático de variação da altura do corte de base, que mantém um padrão de corte, independente das condições operacionais aplicadas durante a colheita.



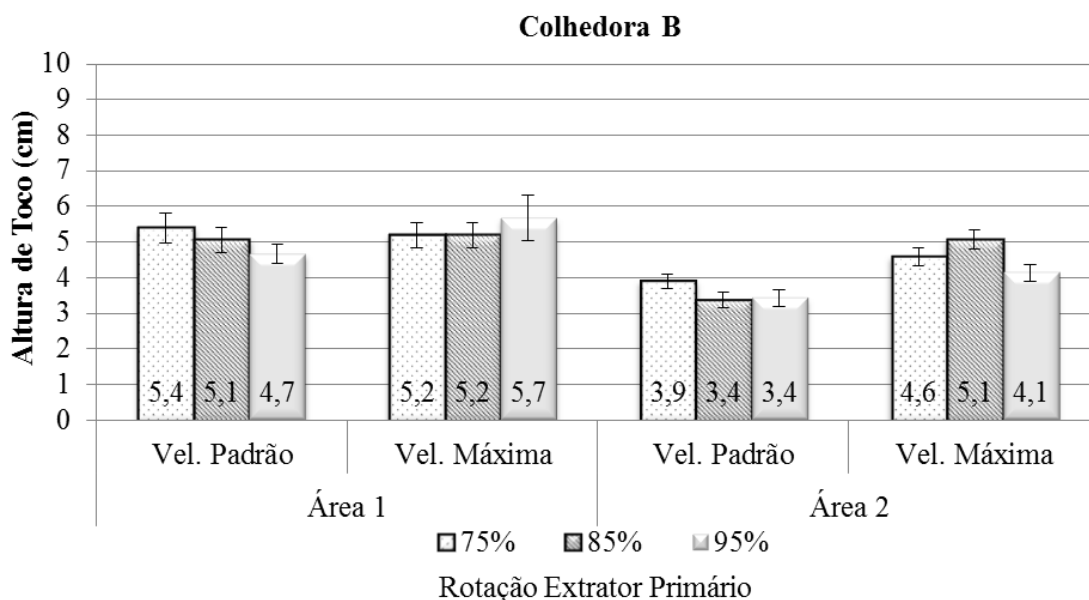
**Figura 62.** Altura de toco encontrado após a colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

Na Figura 63 estão representados os resultados de danos às soqueiras, onde observa-se também que apesar do aumento da velocidade de colheita e da diferença de produtividade entre as áreas, não houveram danos significativos. Este resultado pode estar associado ao uso adequado das facas de corte de base, com a troca das mesmas sendo realizada quando houve mudança de área de colheita.



**Figura 63.** Abalo de soqueira verificado em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora A.

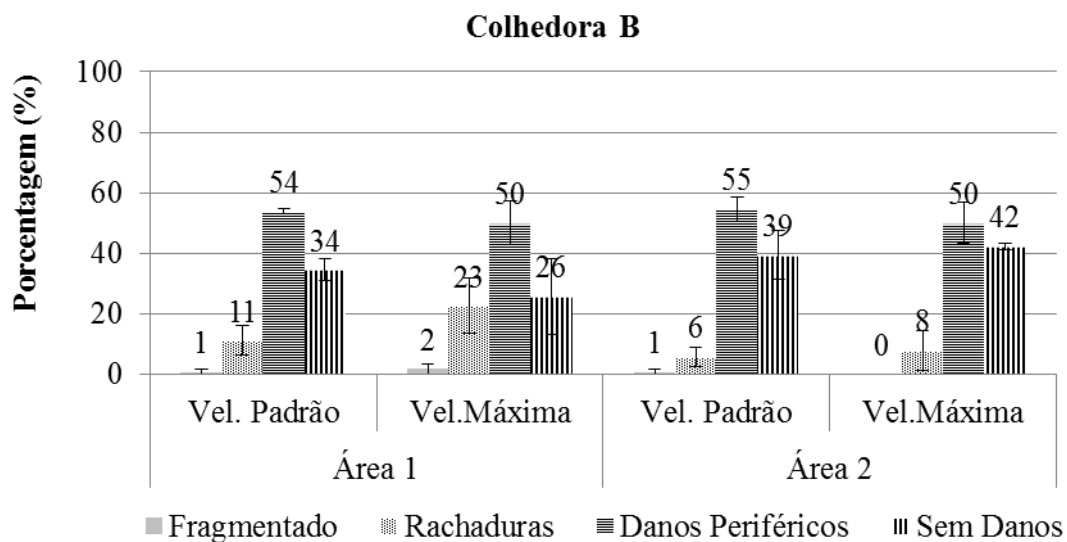
Ao analisar os resultados de altura de corte da colhedora B (Figura 64), observa-se que a altura de toco foi menor nos tratamentos na área 2, a qual apresentava melhor colheitabilidade. Assim como a velocidade padrão de colheita apresentou menor altura de corte quando comparada à máxima velocidade nesta mesma área.



**Figura 64.** Altura de toco encontrado após a colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.



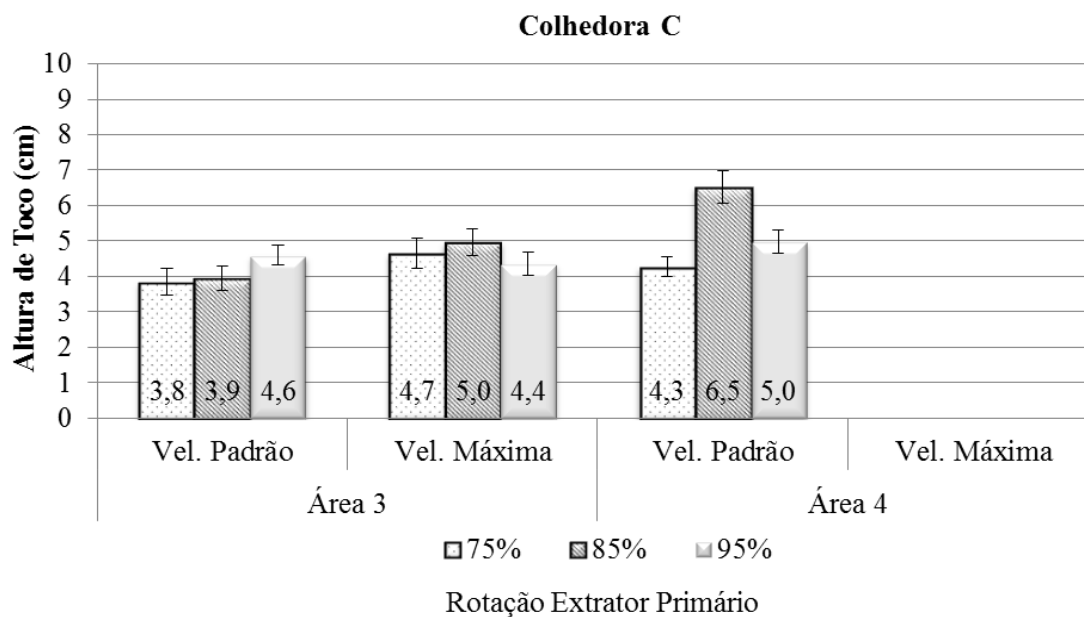
Com relação aos danos às soqueiras (Figura 65), observa-se que na área 1, independentemente de utilizar velocidade padrão ou máxima de colheita, houveram maiores danos quando comparada à área 2, apresentando menor quantidade de soqueiras sem danos e maior quantidade de soqueiras apresentando rachaduras.



**Figura 65.** Abalo de soqueira verificado em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora B.

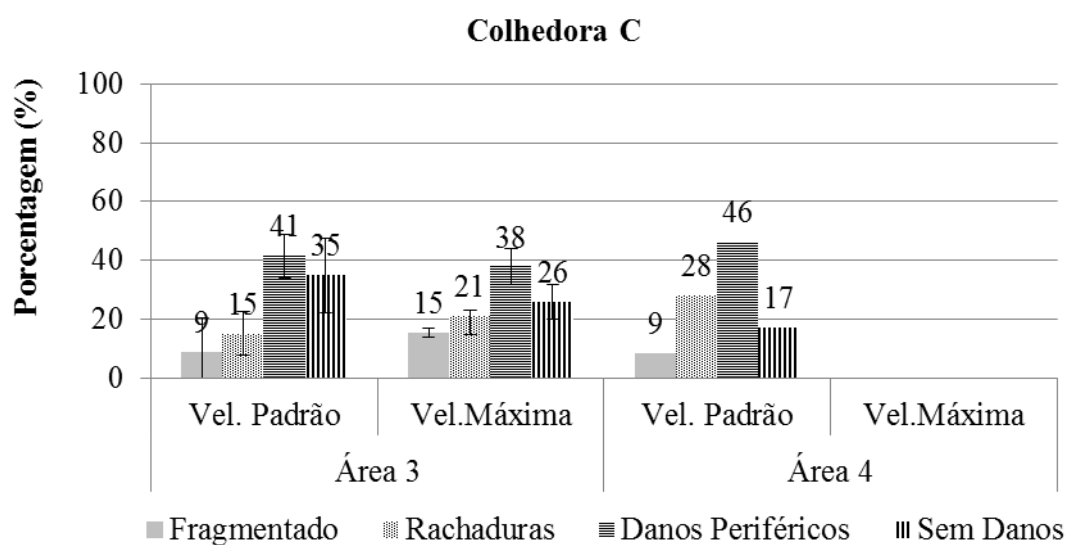
Portanto em ambas as colhedoras utilizadas durante o experimento nas áreas 1 e 2, observou-se que os resultados de altura de toco e danos às soqueiras foram melhores na área que apresentava melhores índices de colheitabilidade, ou seja, na área 2.

Os resultados para altura do toco deixado na soqueira após a colheita utilizando a colhedora C (Figura 66) apresentaram comportamento diferente nas áreas 3 e 4 e baixa variabilidade, sendo praticamente todos os tratamentos iguais estatisticamente. Contudo, neste caso, observou-se aumento da altura média de toco com o aumento da velocidade de colheita, embora também estatisticamente semelhantes. Além disso, mesmo ao utilizar velocidade padrão de colheita na área 4, onde apresentava pior colheitabilidade em função do porte deitado do canavial, foram obtidos maiores resultados de altura de toco quando comparados aos resultados encontrados na área 3.



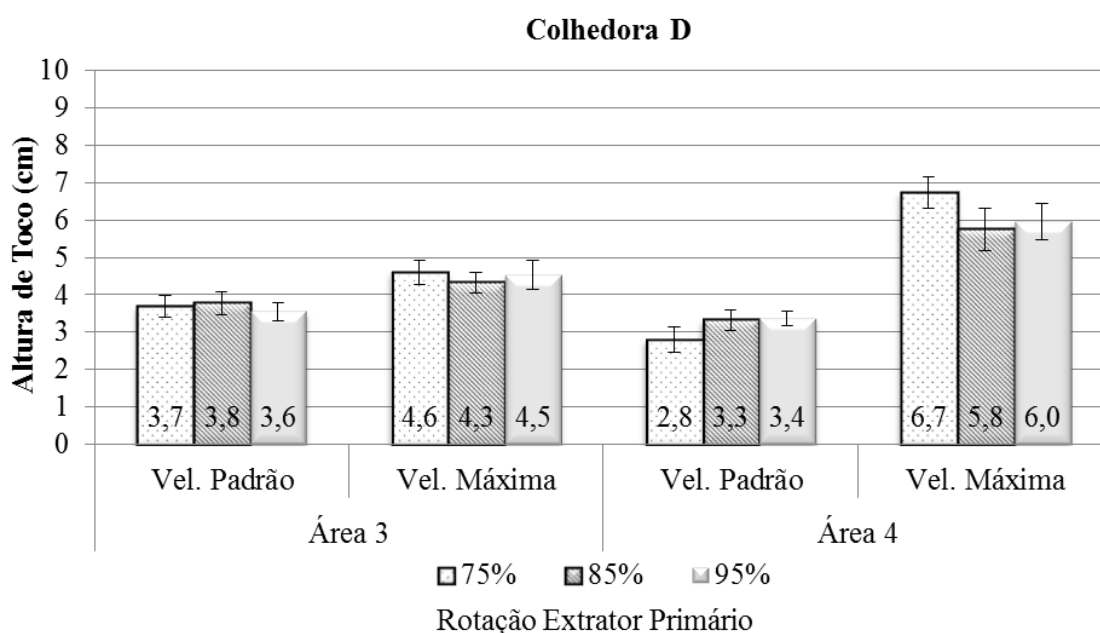
**Figura 66.** Altura de toco encontrado após a colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Ao analisar os danos às soqueiras (Figura 67), observou-se que na velocidade padrão da área 3, onde a altura de toco foi menor, houve menor dano, com maior porcentagem de soqueiras sem danos e com danos periféricos. Enquanto os demais tratamentos que apresentaram maior média de altura de toco, apresentaram também maior porcentagem de rachaduras nas soqueiras, danos periféricos ou fragmentações, tanto os tratamentos de alta velocidade na área 3 quanto na velocidade padrão de colheita na área 4.



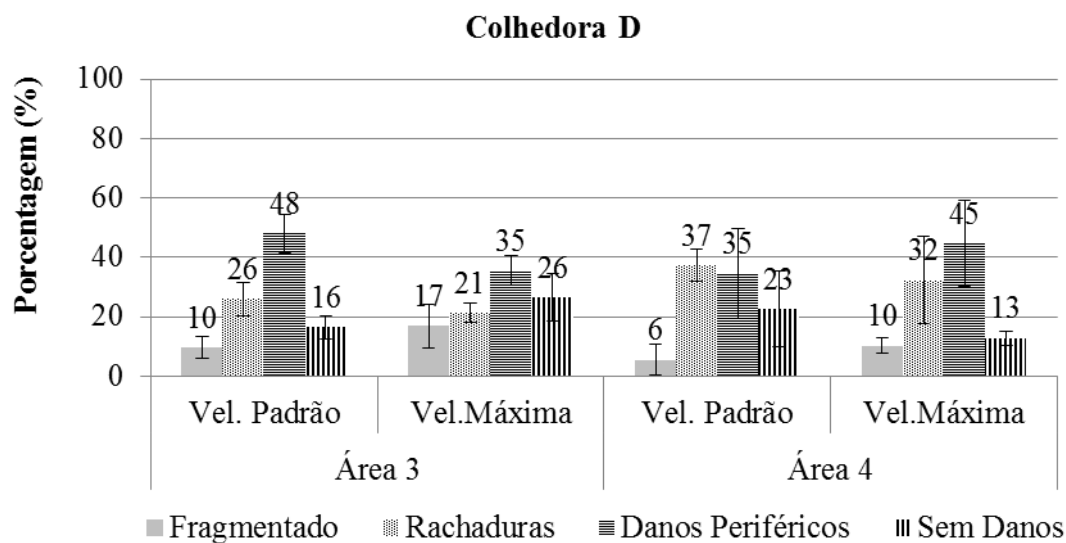
**Figura 67.** Abalo de soqueira verificado em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora C.

Os resultados dos tratamentos com a colhedora D (Figura 68) demonstram que o aumento da velocidade de colheita e da produtividade proporcionou aumento da altura do toco deixada após a colheita. Ao observar esses resultados e realizar uma análise juntamente com os resultados obtidos de impurezas minerais, onde não observou-se grande variação nas impurezas independentemente do tratamento, conclui-se que o sistema de controle automático da altura do corte de base nesta colhedora apresentou a melhor eficiência dentre todas as máquinas, variando a sua altura de corte em função das condições encontradas no momento da colheita e garantindo as menores alturas de corte dentre todas as máquinas, principalmente nas respectivas áreas de melhor colheitabilidade.



**Figura 68.** Altura de toco encontrado após a colheita em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

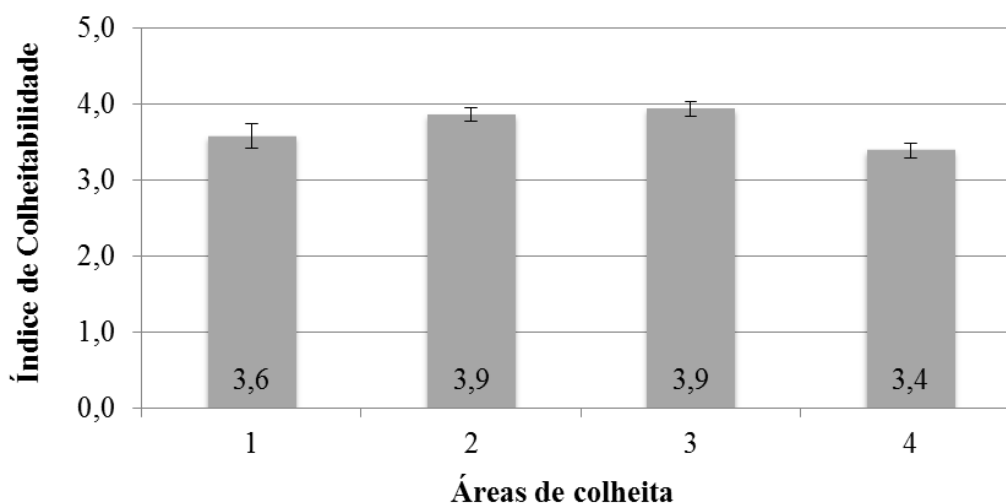
Os danos às soqueiras encontrados para colhedora D (Figura 69) apresentaram baixa variabilidade, contudo observou-se maior quantidade de soqueiras com rachaduras e fragmentações nos tratamentos da área 4, de pior colheitabilidade. Além disso, dentro da mesma área verificou-se que a maior a velocidade máxima de colheita provocou maiores danos às soqueiras. Ao analisar estes resultados juntamente com os resultados de altura de toco, conclui-se que a maior altura de toco causa maiores danos pelo corte às soqueiras devido ao efeito alavanca, como citado por Mello e Harris (2003).



**Figura 69.** Abalo de soqueira verificado em todos os tratamentos aplicados nas parcelas experimentais colhidas pela colhedora D.

#### 4.6 Considerações Finais sobre o Índice de colheabilidade

Na Figura 70 estão os resultados médios de índice de colheabilidade encontrados nas quatro áreas onde foi realizado o experimento, sendo uma média de todos os tratamentos que foram colhidos nestas áreas pelas colhedoras A e B, no caso das áreas 1 e 2 e pelas colhedoras C e D, no caso das áreas 3 e 4.



**Figura 70.** Índice de colheabilidade médio encontrado nas quatro áreas onde foi realizada a colheita dos tratamentos.

Observa-se que as notas resultantes do índice de colheitabilidade das parcelas experimentais em geral apresentam baixa variabilidade e apesar de apresentarem algumas diferenças nas condições do canavial no momento da colheita, estas diferenças não foram suficientes para afirmar a influencia de alguns dos fatores avaliados nos resultados de desempenho e qualidade da colheita, como foi o caso da sistematização do terreno, da posição da soqueira, da declividade e do alinhamento entre fileiras.

Para este experimento, observou-se que o índice de colheitabilidade encontrado nas áreas escolhidas foram semelhantes, com todos eles variando entre uma condição regular (nota 3) a boa (nota 4) de colheitabilidade. Esta condição refletiu, principalmente, nos resultados de qualidade de colheita, onde foram encontrados valores de perdas de matéria-prima que classificaram-se entre baixa e média porcentagem, com apenas alguns poucos tratamentos apresentando valores altos de perdas de matéria-prima. Assim como as perdas, as impurezas vegetais também apresentaram níveis satisfatórios de classificação, obtendo resultados que baixa e média porcentagem na grande maioria dos tratamentos. Já as impurezas minerais apresentaram predominantemente níveis baixos de classificação, com poucos tratamentos apresentando níveis intermediários de impurezas minerais que foram levadas junto à carga colhida. Com relação à altura de toco, na maior parte dos tratamentos foi observado altura de toco em torno de 5 cm, sendo este valor a altura máxima aceitável na maioria das Usinas.

A determinação de um índice de colheitabilidade teve por objetivo identificar em pré-colheita as condições de um talhão cultivado com cana-de-açúcar, servindo de base para tomada de decisões com relação às condições críticas para o desempenho das colhedoras, ou seja, a partir de determinadas características dos canaviais, serão tomadas medidas gerenciais para que as mesmas sejam melhoradas para a safra subsequente ou até mesmo para que haja alterações na forma de operar as máquinas que irão colher neste canavial, possibilitando ganhos em desempenho operacional associado à qualidade de colheita desejada no que diz respeito às perdas de matéria-prima, quantidade de impurezas vegetais e minerais aceitáveis e proteção das soqueiras quanto aos danos.

Portanto, entende-se que a colheitabilidade de um canavial pode variar em função dos diversos fatores que influenciem, porém uma associação de fatores são responsáveis pelos principais resultados de desempenho e qualidade, onde nem sempre a melhor condição para o desempenho resultará nos melhores resultados de qualidade da

colheita e vice-versa. Além disso, observou-se que canaviais com pequenas diferenças de colheitabilidade podem apresentar resultados de desempenho e qualidade semelhantes estatisticamente, sendo que a grande variabilidade das condições encontradas pode resultar em melhores resultados de determinadas avaliações sendo encontrados muitas vezes em canaviais onde foi atribuída pior nota de colheitabilidade.

A metodologia utilizada apresentou resultados satisfatórios, pois foi observado que na maioria dos casos, o desempenho e a qualidade apresentaram relações com o índice de colheitabilidade verificado nas respectivas parcelas experimentais, mesmo estas apresentando pequenas diferenças de colheitabilidade. Contudo, é importante que a metodologia seja aplicada em mais condições de colheitabilidade e, principalmente, seja avaliada em diferentes áreas, com características bastante bem definidas entre si, onde possam ser encontrados características extremas e opostas de colheitabilidade. Estas condições seriam facilmente encontradas durante uma safra agrícola, com o acompanhamento em frentes de colheita, porém só seria possível a partir de trabalhos de pesquisa realizados numa parceria entre Universidades e Empresas do setor privado, tanto fabricantes de máquinas agrícolas como Usinas do setor sucroalcooleiro.

## 5 CONCLUSÕES

A produtividade agrícola do canavial apresentou grande influencia nos resultados de desempenho operacional e qualidade da colheita.

Em maiores produtividades foram obtidos os melhores resultados de capacidade de colheita e consumo de combustível por tonelada colhida.

As perdas de matéria-prima variaram em função da velocidade de colheita e da produtividade agrícola, sendo maiores quando aumentou-se tanto a velocidade quanto a produtividade.

A variação nas rotações do extrator primário não influenciaram nos resultados de desempenho operacional e consumo de combustível por tonelada colhida.

A metodologia para determinação do índice de colheitabilidade apresentou resultados satisfatórios, apesar da baixa variabilidade encontrada entre as parcelas experimentais.

Em canaviais com pior índice colheitabilidade foram encontrados piores resultados de altura de toco e abalo de soqueira.

As diferenças de índice de colheitabilidade encontradas entre os talhões não apresentaram influência na presença de impurezas vegetais junto à matéria-prima colhida.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, A. E.; ALAM-ELDIN, A. O. M. An assessment of mechanical vs manual harvesting of the sugarcane in Sudan – The case of Sennar Sugar Factory. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 2, p. 160–166, jun. 2015.

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

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; MARTINS, J. M. S.; DIMASE, M. Capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar - Modelagem matemática em função da produtividade agrícola e da vida da máquina. **Revista Agrimotor**, n.77, p.42-45, 2012.

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”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BENEDINI, M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G.; Perdas e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada. **Canaoeste**. Guariba, SP, 7p, 2009.

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.



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.

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

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

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.

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

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

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, PB, v. 15, n. 9, p. 940-949, 2011 .

CASAGRANDE, A.A. **Informações da literatura sobre espaçamentos na cultura da cana-de-açúcar**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE MECANIZAÇÃO E

PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 2000, Ribeirão Preto/SP. **Anais...** Ribeirão Preto: IDEA, 2000. p. 48-54.

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

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; SILVA, H. de O. F.; ISLER, P. R.; OLIVEIRA, P. A. Avaliação do desempenho operacional da colheita e transbordo de cana-de-açúcar (*saccharum* spp.). **Energia na agricultura**, Botucatu, v.30, n.3, p.232- 241, 2015.

CHRISTOFFOLETI, P.J. ; LÓPEZ-OVEJERO, R.F. ; NICOLAI, M. ; CARVALHO, S.J.P. . Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas. In: II SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2005, Piracicaba. **Palestra**. Piracicaba: ESALQ/POTAFOS, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Central de informações agropecuárias**. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)> Acesso em: 14/12/2015.

COOPERSUCAR. Colheita mecanizada de cana picada: avaliação de perdas invisíveis e estilhaços nos sistemas das colhedoras. **Relatório técnico**. Centro de Tecnologia Canavieira, DCEA, São Paulo, 1989, 53 p.

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

COX, D. Sugarcane row spacing standard. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 8., 2006, Ribeirão Preto, **Anais...** Ribeirão Preto, 2006.

DALBEN, L.C. Alternativas de colheita mecanizada com mais de uma linha. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 5., 2011, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba, 2011.

DE BEER, A.G., BAXTER, S.W.D., RIDGE, D.R., ABREU CIL, J. AND CLAYTON, J.E. Report by the Agricultural Engineering Section Committee, **Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists**, South African Sugar Association Experiment Station, Mount Edgecombe, 1985, p. 1184-1199.

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.

FERNANDES, A. C.; IRVINE, J. E. Comparação da produtividade da cana-de-açúcar por colheita mecanizada e por corte manual. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 5, n. 6, p. 112-116, jul/ago, 1986.

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. Sulcos alternados duplos (SAD) e simples: controle de tráfego na colheita de cana picada. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, n. 4, p. 14-16, Mar./Abr. 1995b.

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.

GARCIA, M. A. L. **Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar**. 2008. 77 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GARSON, C.A. Control of harvester base cutter height. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Towsville, v. 1, p. 156-162, 1992.

GARSON, C.A; ARMSTRONG, M. Ultrasonic base cutter height control: a report on 1992 season experiments. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Bundaberg, v.1, p. 52-59, 1993.

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.

HC&S. (2013). **FAQs about cane burning**. Maui, Hawaii, Hawaiian Commercial & Sugar Co. Retrieved from: <http://hcsugar.com/what-we-do/faqs/>.

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.

KIM, M.; D. F. DAY. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of Indian Microbiological Biotechnology**, 38(7), 803- 807. 2011.

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

KROES, S.; HARRIS, H.D. Knockdown causes major damage to cane during harvesting. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Brisbane, v. 1, p. 137-144, 1996.

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.

MA, S.; SCHARF, P. A.; KARKEE, M.; ZHANG, Performance evaluation of a chopper harvester in hawaiian sugarcane fields. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.58, n.2, p.271-279, 2015.

MAGALHÃES, 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.

MATHANKER, S. K.; GAN, H.; BUSS, J. C.; LAWSON, B.; HANSEN, A.C.; TING, K. C. Power requirements and field performance in harvesting energycane and sugarcane. **Biomass and Bioenergy**, v.75, p.227- 234, 2015.

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. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722p.

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

MICHELAZZO, M. B.; BRAUNBECK, O. A. Análise de seis sistemas de recolhimento do palhico na colheita mecânica da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.12, p.546-552, 2008.

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. **Proceedings...** Sacramento, 2001.

MONACO JUNIOR, L.C. Plantio espaçamento alternado. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 13., 2011, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2011.

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.

MORELLI, J.L. Espaçamento duplo: É viável para a colheita mecanizada ? In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 6., 2004, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2004.

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.; MARCHI,A.S.; PIZZINATO,A.S.; MENEGASSO,L.R. Comparative testing of floating and a conventional fixed base cutter. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS,24., Brisbane, 2001. **Proceedings...** Mackay: The ISSCT Congress Organising Committee, 2001 . v.2,p. 257- 262.

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.

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.

NÚÑEZ, O.; SPAANS, E. Evaluation of green-cane harvesting and crop management with a trash blanket. **Sugar Tech**, 10(1), 29-35. 2008.

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.

PATANE, P.; WHITEING, C. **Harvesting best practice manual**. Sugar Research Australia. Technical publication MN14001. Indooroopilly. 2014.

PRESTON, T. R.; CARCAÑO, C.; ALVAREZ, P. J.; GUTIERREZ, D. G. Rice polishings as a supplement in a sugar cane diet: Effect of level of rice polishings and of processing the sugar cane by derinding or chopping. **Tropical Animal Production**, 3(1), 150-163, 1976.

RAFULL, L. Z. L. **Simulação de sistemas de controle de posição do mecanismo de corte em colhedoras**. 2003. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.



RAMOS, C. R. G.; **Desempenho operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora.** 2013. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2013.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; MILLANI, T. M. Qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.29, n.2, p.87- 94, 2014.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; SANDI, J; LYRA, G. A.; MILLANI, T. M. Qualidade dos rebolos colhidos colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.30, n.3, p.217-224, 2015.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; SANDI, J. Fuel consumption of a sugarcane harvester in different operational settings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.20, n.6, p.588-592, 2016.

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.

RIDGE, D.R. Minimizing the problem of soil in chopper harvester cane. **Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists**, Manila, v. 2, p. 315-323, 1980.

RIDGE, D.R.; DICK, R.G. Current reserch on green cane harvesting and dirt rejection by harvesters. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Townsville, v. 1, p. 19-25, 1988.

RIDGE, D.R.; HURNEY, A.P.; DICK, R.G. Cane harvester efficiency. **Proceedings of the Conference on Agricultural Engineering**. Bundaberg, v. 1, p. 118-122, 1984.

RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G.; NOVAES, H.P. Um critério para avaliação de canaviais visando à colheita. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 4., 1977, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1977. 10 p.

RIPOLI, T.C.; PARANHOS, S.B. **Máquinas para corte e carregamento de cana**. Piracicaba: Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, 1990. 46p.

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.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.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa da cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2.ed. Piracicaba, 2002. 302 p.

RIPOLI, M.L.C.; RIPOLI, T.C.C.; OLIVEIRA, M.A. Evaluation of two different base cutters in green cane mechanical harvest. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2003, Las Vegas. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2003.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDI, D.V.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Edição dos autores, 2006. 216p.

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.

RIPOLI, M. L. C. Tempo de qualidade e redução de custos na colheita mecanizada. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 16., Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, IDEA, 2014. p. 1-31.

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

ROMERO, M.L.C.; 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.

ROSSETO, A.; PASCOTO, V. Os espaçamentos devem mudar? In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 3., 2001, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, IDEA, 2001. p. 17-27.

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 tráfego agrícola. **Ciência Rural**, Piracicaba, v. 41, n. 9, p. 1536-1542, 2011.

ROSA, J. H. M.; **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em espaçamento duplo alternado.** 2013. 153p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.

ROZEFF, N. The effects of operating velocity on productivity in Green and burned sugar cane. **Sugar Cane**, n.1, p. 7-19, Nov. 1989.

SALVI, J.V.; MILAN, M.; SARRIES, G.A.; SOUZA, A.B.M.; NAGUMO, G.K.; MATOS, M.A. Avaliação dos sistemas de corte basal de uma colhedora de cana de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34, 2005, Canoas. **Anais...** Canoas: SBEA, 2005. 1 CD-ROM.

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.

SALVI, J.V.; MATOS, M.A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de cortes de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.201-209, 2007.

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.

SCHEMBRI, M. G.; MCKENZIE, N.J.; CONNOR, A.; EVERITT, P.G. Further advances in automating base cutter height control. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONFERENCE, 22. ,2000, Bundaberg. **Proceedings...** Brisbane: D.M.Hogart, 2000. p. 92-97.

SCHROEDER, B.; PANITZ, J.; LINEDALE, T.; WHITEING, C.; CALLOW, B.; SAMSON, P.; HURNEY, A.; CALCINO, D.; ALLSOPP, A. **SmartCane harvesting and ratoon management**. BSES Limited Technical Publication TE09004. 2009a.

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

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.

SILVA, M. de A.; CARLIN, S.D.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v.51, p. 457-466, 2004.

SILVA, M. A.; JERONIMO, E. M.; DAL'COL LÚCIO, A. Perfilamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n. 8, p.979-986, 2008.

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.

SILVA, R. P. da. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, 2008.

SINGH, G.; S.C. CHAPMAN; P.A. JACKSON; R.J. LAWN. Lodging reduces sucrose accumulation of sugarcane in the wet and dry tropics. **Australian Journal of Agricultural Research**. 53: 1183-1195, 2002.

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.

STUPIELLO, J. P.; FERNADES, A. C. Qualidade da matéria-prima proveniente das colhedoras de cana picada e seus efeitos na fabricação de álcool e açúcar. **STAB**, v.2, n.2 p. 45-49, 1984.

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.

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.

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.