

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COLHEDORAS
MULTILINHAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM TRÊS
ESPAÇAMENTOS

Guilherme de Castro Belardo

Engenheiro Agrônomo

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COLHEDORAS
MULTILINHAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM TRÊS
ESPAÇAMENTOS

M.Sc. Guilherme de Castro Belardo
Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

Belardo, Guilherme de Castro
B426a Avaliação do desempenho de colhedoras multilinhas de cana-de-
açúcar em três espaçamentos / Guilherme de Castro Belardo. – –
Jaboticabal, 2016
xxvi, 198 p. : il. ; 29 cm

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: Rouverson Pereira da Silva
Banca examinadora: Cristiano Zerbato, Fabio Alexandre
Cavichioli, Marco Lorenzo Cunali Ripoli, Rafael Scabello Bertonha
Bibliografia

1. Colheita de cana-de-açúcar. 2. Mecanização. 3. Desempenho
efetivo. 4. Máquinas agrícolas. 5. Controle de qualidade I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.35:633.61



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COLHEDORAS MULTILINHAS DE
CANA-DE-AÇÚCAR EM TRÊS ESPAÇAMENTOS

AUTOR: GUILHERME DE CASTRO BELARDO

ORIENTADOR: ROUVERSON PEREIRA DA SILVA

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


Prof. Dr. ROUVERSON PEREIRA DA SILVA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. FABIO ALEXANDRE CAVICHIOLI
Departamento de Agronegócio / FATEC - Taquaritinga/SP


Prof. Dr. CRISTIANO ZERBATO
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. MARCO LORENZO CUNALI RIPOLI
Gerente de Marketing Estratégico para Cana-de-Açúcar / Empresa JOHN DEERE / Indaiatuba/SP


Pós-doutorando RAFAEL SCABELLO BERTONHA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 05 de agosto de 2016.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

GUILHERME DE CASTRO BELARDO – nascido em Jundiaí, São Paulo, no dia 3 de abril de 1978, filho de Luiz Guilherme Belardo e Márcia de Castro Belardo. cursou o Ensino Fundamental no Colégio Divino Salvador e La Fontaine e Ensino Médio no Colégio Leonardo da Vinci em Jundiaí concluído em 1995. Ingressou no Ensino Superior no ano de 1997 no curso de Agronomia, e recebeu o título de Engenheiro Agrônomo em 2001, formado pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo – ESALQ/USP.

Fez cursos de pós-graduação nas áreas de especialização em Administração do Agronegócio pela Universidade Federal de Lavras - MG (UFLA) concluído em Março de 2003, Curso de Gerência de Produtos pela Escola Superior de Propaganda e Marketing (ESPM) – SP, concluído em Julho de 2007, Curso Intensivo em Gestão de Projetos pela Escola Superior de Propaganda e Marketing (ESPM) – SP, concluído em Novembro de 2008 e o Programa de Desenvolvimento Gerencial da Fundação Dom Cabral (FDC) – MG, concluído em Maio de 2010.

Na área de pós-graduação em gestão, fez Master Business Administration (MBA) concluído em julho de 2004 no curso de Gestão Estratégica em *Agribusiness* pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Como pós-graduação *stricto sensu* fez Mestrado em Agronomia com ênfase em Mecanização e Máquinas Agrícolas pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, concluído em outubro de 2010.

Em agosto de 2014, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, no Programa de Produção Vegetal, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, no Departamento de Engenharia Rural, desenvolvendo suas pesquisas e fazendo parte do LAMMA – Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola.

Atua na área de Engenharia Agrônômica e Agrícola, com ênfase em máquinas e mecanização agrícola, sistemas de colheita, gerenciamento de sistemas mecanizados, controle de qualidade nas operações agrícolas, agricultura de precisão e produção vegetal de diversas culturas. Em agosto de 2016, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Song: **"Simple Man" by Lynyrd Skynyrd**

Mama told me when I was young
"Come sit beside me, my only son
And listen closely to what I say
And if you do this it'll help you some sunny day"
"Oh, take your time, don't live too fast
Troubles will come and they will pass
You'll find a woman and you'll find love
And don't forget, son, there is someone up above"

**"And be a simple kind of man
Oh, be something you love and understand
Baby be a simple kind of man
Oh, won't you do this for me, son, if you can"**

"Forget your lust for the rich man's gold
All that you need is in your soul
And you can do this, oh baby, if you try
All that I want for you, my son, is to be satisfied"

[Chorus:]

Oh yes, I will
"Boy, don't you worry, you'll find yourself
Follow your heart and nothing else
And you can do this, oh baby, if you try
All that I want for you, my son, is to be satisfied"

[Chorus:]

Baby, be a simple, really simple man
Oh, be something you love and understand

Songwriters

Gary Robert Rossigton and Ronnie Van Zant

À minha esposa Anamaria, minha companheira em todos os momentos, pela paciência e apoio no período de doutorado e por estar ao meu lado em todos os momentos de nossas vidas.

Aos meus pais, Luiz Guilherme e Márcia pelo incentivo constante nos estudos, apoio em todos os momentos e dedicação ao longo de toda minha vida pessoal e profissional. Sem vocês eu não seria quem sou.

As minhas irmãs Fafá e Caê pelos conselhos e conversas sinceras, o apoio de vocês me faz mais forte e sempre me ajudam a manter a direção.

Obrigado por serem meus exemplos de vida!

Meu amor eterno a vocês.

DEDICO

A minha família.
A todas as pessoas que me ajudaram e fizeram parte dessa história.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

Aos meus queridos pais, Luiz Guilherme e Marcia, por me proporcionarem uma educação de qualidade, pelo amor, companheirismo e união, essenciais na formação do meu caráter e da minha vida profissional.

À minha esposa Anamaria pela paciência, carinho, pelos momentos felizes, únicos e inesquecíveis que passamos e ainda vamos passar juntos.

As minhas irmãs Flavia e Carolina que sempre estiveram ao meu lado não importando o momento.

Aos meus avós (*in memorian*) que me ensinaram que a vida é longa e deve ser aproveitado cada minuto.

Aos colegas da Esalq/USP da graduação e pós-graduação que fazem parte da minha formação acadêmica e pelos bons momentos e amizades construídas.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

Ao grande amigo, particular e profissional, e orientador, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, por me ajudar em todos os momentos durante a minha trajetória no Doutorado orientando e apoiando com dedicação nas informações transmitidas e no suporte necessário para elaboração deste trabalho.

Ao amigo e mestre Tomaz Caetano Cannavan Ripoli (*in memorian*) por me apoiar na vida acadêmica e profissional sendo o principal responsável pela minha formação na área de mecanização e máquinas agrícolas.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação durante o doutorado Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, Prof. Dr. David Luciano Rosalen, Prof. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissara, Prof. Dr. José Carlos Barbosa, Prof. Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves.

Aos pesquisadores, Prof. Dr. Cristiano Zerbato, Prof. Dr. Fabio Carchioli, Prof. Dr. Rafael Scabello Bertonha e Dr. Marco Lorenzo Cunali Ripoli, por participarem da banca examinadora bem como pelas colocações e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Aos amigos Murilo Voltarelli, Marcelo Cassia, Cristiano Zerbato, Lucas Augusto da Silva Gírio, Carla Segatto Paixão, Melina Cais, Adão dos Santos Rafael Gomes, Tiago Tavares, Luma Stefania Torres, Vicente Filho Silva, Franciele Morlin e a todos os funcionários da FCAV Engenheira Rural integrantes do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) que ajudaram nos trabalhos durante o doutorado e pela amizade, convivência e auxílio nas atividades.

Ao amigo e colega João Rosa do Pecege – Esalq/USP que apoiou no levantamento dos dados, análise estatística e discussões sobre essa dissertação.

As Usinas Potirendaba (Grupo Noble) na pessoa de José Alcides Ferreira, Clealco na pessoa de Cassio Paggiaro e Porto das Águas (Grupo CerradinhoBio) na pessoa de Murilo Ferreira e a toda sua equipe de funcionários pelo apoio de campo, disponibilidade das máquinas e análises que foram necessárias dentro da Usina. Obrigado por acreditarem na pesquisa como ferramenta de desenvolvimento do setor de máquinas agrícolas.

A CNH Latin America que incentivou, apoiou e me possibilitou realizar essa tese.

Ao time de validação de campo da Case IH que apoiou no levantamento dos dados dessa pesquisa.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para tornar este momento possível, por meio de conselhos, palavras amigas e momentos de sabedoria, fica aqui a minha gratidão.

SUMÁRIO

Página

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	2
3. Hipótese.....	3
4. Revisão de literatura.....	3
4.1. Evolução da Colheita Mecanizada.....	3
4.1.1. Uma visão da expansão da mecanização.....	3
4.1.2. O canavial (a relevância da produtividade, biometria, espaçamentos e porte do canavial).....	6
4.1.3. Desempenho operacional de colhedoras de cana (conceitos e resultados de pesquisas).....	8
4.1.4. Pisoteio e tráfego na colheita.....	15
4.1.5. Evolução das colhedoras de cana.....	18
5. Referências:.....	27
CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA UTILIZADA NOS ENSAIOS.....	31
1. Experimento 1.....	31
2. Experimento 2.....	33
3. Experimento 3.....	35
A. Material.....	37
1. Equipamentos e Instrumentos de campo.....	37
2. Instrumentos de laboratório.....	38
B. Métodos.....	38
3. Critérios de amostragens.....	38
4. Caracterização da área.....	39
4.1. Determinação da área amostral.....	39
4.2. Porte do canavial.....	40
4.3. Teor de água no solo.....	40
5. Determinação da velocidade operacional.....	41

6.	Determinação da quantidade de matéria-prima colhida para cada repetição.	42
7.	Determinação de perdas visíveis de matéria-prima no campo.	42
8.	Determinação de qualidade de matéria-prima colhida e quantidade de rebolos colhidos.	44
9.	Determinação de frequência, índice de cisalhamento e comprimento de rebolos (Avaliação da qualidade do picador).	46
10.	Determinação da qualidade do corte de base.....	46
11.	Capacidade de colheita.....	47
12.	Capacidade Efetiva – CE.	48
13.	Capacidade Efetiva Líquida ou Calculada - CEI.	49
14.	Capacidade Efetiva Bruta - CEb.....	49
15.	Eficácia de Manipulação.	50
16.	Índices de matéria estranha na matéria-prima.....	51
17.	Consumo de combustível.....	53
18.	Delineamento estatístico.....	54
19.	Controle Estatístico de Processos (CEP).....	54
20.	Referências.....	56
CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO DE TRÊS COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ESPAÇAMENTO DUPLO ALTERNADO.....		58
INTRODUÇÃO		60
MATERIAL E MÉTODOS.....		61
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		63
1.	Condições do ensaio.	63
1.1.	Produtividade agrícola.	63
1.2.	Velocidade de colheita.....	63
1.3.	Capacidade de colheita	64
1.3.1.	Capacidade efetiva bruta e líquida de matéria-prima.	64
1.4.	Eficácia de manipulação.....	67
1.5.	Qualidade de colheita.	68
1.5.1.	Matéria estranha mineral.....	68
1.5.2.	Matéria estranha vegetal.....	69

1.6.	Perdas.	70
1.7.	Consumo de combustível.	75
1.7.1.	Consumo horário de combustível.	76
1.7.2.	Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta e líquida.	76
1.8.	Avaliação do corte basal.	79
1.8.1.	Altura de corte.	79
1.8.2.	Danos à soqueira.	82
1.8.3.	Abalo de soqueira.	83
1.9.	Tamanho e cisalhamento de rebolos.	84
1.10.	Considerações gerais.	86
1.11.	Conclusões.	88
1.12.	Referências.	89
CAPÍTULO 4 – DESEMPENHO DE DUAS COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ESPAÇAMENTO DUPLO ALTERNADO EM DUAS CONDIÇÕES DE CANAVIAIS ...		92
INTRODUÇÃO		94
MATERIAL E MÉTODOS		95
RESULTADOS E DISCUSSÃO		97
1.	Condições do ensaio.	97
1.1.	Produtividade agrícola.	97
1.2.	Velocidade de colheita.	98
1.3.	Capacidade efetiva de colheita.	99
1.3.1.	Capacidade efetiva bruta e líquida de colheita.	99
1.4.	Eficácia de manipulação.	101
1.5.	Qualidade de colheita.	102
1.5.1.	Matéria estranha mineral.	102
1.5.2.	Matéria estranha vegetal.	103
1.6.	Perdas.	104
1.7.	Consumo de combustível.	109
1.7.1.	Consumo horário de combustível.	109
1.7.2.	Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta e líquida.	110
1.8.	Avaliação do corte basal.	112

1.8.1.	Altura de corte.	112
1.8.2.	Danos à soqueira.	115
1.8.3.	Abalo de soqueira.	116
1.9.	Tamanho e cisalhamento de rebolos.	117
1.10.	Considerações gerais.	119
1.11.	Conclusões.	121
1.12.	Referências.	122
CAPÍTULO 5 – DESEMPENHO DE COLHEDORA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM COLHEITA DE DUAS FILEIRAS DE ESPAÇAMENTO SIMPLES de 1,5 M E TRIPLO ALTERNADO (0,75 M X 0,75 M X 1,5 m).		125
	INTRODUÇÃO.	127
	MATERIAL E MÉTODOS.	127
	RESULTADOS E DISCUSSÃO.	130
1.	Condições do ensaio.	130
1.1.	Produtividade agrícola.	130
1.2.	Velocidade de colheita.	131
1.3.	Capacidade de colheita.	132
1.3.1.	Capacidade efetiva bruta e líquida de colheita.	133
1.4.	Eficácia de manipulação.	135
1.5.	Qualidade da matéria-prima.	136
1.5.1.	Matéria estranha mineral.	136
1.5.2.	Matéria estranha vegetal.	137
1.6.	Perdas.	138
1.7.	Consumo de combustível.	143
1.7.1.	Consumo horário de combustível.	143
1.7.2.	Consumo na capacidade efetiva bruta e líquida.	144
1.8.	Avaliação do corte basal.	145
1.8.1.	Altura de corte.	146
1.8.2.	Danos à soqueira.	148
1.8.3.	Abalo de soqueira.	149
1.9.	Tamanho e cisalhamento de rebolos.	150

1.10. Considerações gerais.	153
1.11. Conclusões.	156
1.12. Referências.....	157
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	160
Referências.	171

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Locais, datas, espaçamentos e condições dos canaviais dos ensaios.	1
Tabela 2. Comparativo entre as principais características dos modelos de colhedoras mais comercializadas no Brasil.....	23
Tabela 3. Comprimento de sulco por hectare e distância percorrida pela colhedora de acordo com espaçamento adotado.	24
Tabela 4. Metros de sulco por hectare e distância percorrida pela colhedora para colheita de duas fileiras de espaçamento simples.	24
Tabela 5. Compactação do solo frente a diferentes espaçamentos de cana-de- açúcar.	25
Tabela 6. Descrição dos tratamentos experimento 1.	32
Tabela 7. Descrição dos tratamentos experimento 2.	34
Tabela 8. Descrição dos tratamentos experimento 3.	37
Tabela 9. Resumo dos resultados do ensaio: Noble – Potirendaba/SP	87
Tabela 10. Resumo das frequências de avaliação dos mecanismos de corte de base e picador do ensaio: Noble – Potirendaba/SP	88
Tabela 11. Resumo dos resultados do ensaio: Clealco – Clementina/SP.....	120
Tabela 12. Resumo das frequências de avaliação dos mecanismos de corte de base e picador do ensaio: Clealco – Clementina/SP.	121
Tabela 13. Resumo dos resultados do ensaio: Cerradinho Bio – Chapadão do Céu/GO	154
Tabela 14. Resumo das frequências de avaliação dos mecanismos de corte de base e picador do ensaio: Cerradinho Bio – Chapadão do Céu/GO.....	155

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Evolução da colheita mecanizada de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil (%) e número de máquinas necessárias para colheita.....	4
Figura 2. Evolução da colheita de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil e participação relativa (%) quanto a formas de colheita, manual e mecanizada.....	5
Figura 3. Critério para determinação do porte do canavial por meio de triângulo retângulo.	7
Figura 4. Esquema de espaçamento: simples e duplo alternado.....	8
Figura 5. Kit de frente intercambiável disponibilizado para as Colhedoras Santal.	20
Figura 6. Modelo de corte de base da Colhedora John Deere 3522 (a); Detalhe do corte de base mais largo com discos de corte fixos (b).....	20
Figura 7. Detalhe do corte de base em sulcos duplos e a presença de "tocos altos" e/ou arranquio de uma das fileiras.	21
Figura 8. Colhedora Case IH A8800 Multi-row: divisores de linhas fechado para colheita de espaçamentos duplos alternados (a); divisores de linhas aberta para colheita de duas fileiras de 1,5 m (b).	22
Figura 9. Disposição de equipamentos (bitola de 3,0 m) na colheita mecanizada de duas fileiras em espaçamento simples (1,50 m): a) Vista frontal; b) Vista traseira.	26
Figura 10. Sítio Córrego do Cedro – área de realização do ensaio.....	31
Figura 11. Mecanismo de alimentação das colhedoras Case: a) Sem rolos verticais; b) Com rolos verticais.....	32
Figura 12. Usina Clealco – área de realização do ensaio.	33
Figura 13. Diferença entre os tratamentos / porte do canavial: a) Ereto; b) Deitado.....	34
Figura 14. Fazenda Alto Formoso – área de realização do ensaio.	35
Figura 15. Corte de base de central: a) Facas cortadoras; b) Facas recolhedoras.....	36
Figura 16. Determinação do teor de água do solo utilizando Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR).	41

Figura 17. Capacidade de colheita: a) transbordo instrumentado com célula de carga (em destaque); b) colhedora posicionada para início da repetição.	42
Figura 18. Quantificação de perdas na colheita: a) área demarcada e limpa para recolhimento de perdas antes da passagem da colhedora; b) recolhimento e separação das perdas após a passagem da colhedora; c) tipos de perdas; d) pesagem por tipo de perda.	44
Figura 19. Determinação de matéria estranha: a) tambores de sub-amostras de qualidade de matéria-prima; b) retirada das amostras; c) amostras separadas para envio à Usina; d) separação e análise da qualidade de matéria-prima na Usina.	45
Figura 20. Determinação de índice de cisalhamento e frequência no tamanho de rebolos. Avaliação da qualidade do picador: a) medição de comprimento de rebolos; b) critério para qualidade de cisalhamento de rebolo (na ordem: dois lados perfeitos, um lado cisalhado, dois lados cisalhados).	46
Figura 21. a) Área amostral para determinação de altura de corte, danos e abalos à soqueira; b) critérios para avaliação de danos à soqueira Kroes (1997);.....	47
Figura 22. Determinação do consumo de combustível: a) instalação do fluxômetro; b) acompanhamento do consumo pelo computador de bordo.	54
Figura 23. Colhedoras de Cana Case IH A8800 Multirow sem os rolos verticais – Tratamento 1 (a) e com os rolos verticais – Tratamento 2 (b).....	62
Figura 24. Colhedora de Cana John Deere 3522 – Tratamento 3.....	62
Figura 25. Produtividade agrícola – $t\ h^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	63
Figura 26. Velocidade de colheita – $km\ h^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	64
Figura 27. Capacidade de colheita bruta – $t\ h^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	65
Figura 28. Capacidade de colheita líquida – $t\ h^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	66
Figura 29. Eficácia de manipulação – %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	67

Figura 30. Matéria estranha mineral - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	69
Figura 31. Matéria estranha vegetal - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	70
Figura 32. Perdas totais – $t\ ha^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos,e coeficientes de variação (%).	71
Figura 33. Perdas totais – %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	72
Figura 34. Frequência de ocorrência de perdas subdividida pelo tipo de perda (%).	73
Figura 35. Perdas totais – $t\ ha^{-1}$: participação relativa por tipo (colmos soltos e/ou frações, estilhaços, rebolos e tocos).	74
Figura 36. Perdas totais – %: participação relativa por tipo (colmos soltos e/ou frações, estilhaços, rebolos e tocos).	75
Figura 37. Consumo de combustível – $L\ h^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação.	76
Figura 38. Consumo de combustível na Capacidade efetiva bruta – $L\ t^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%)...77	
Figura 39. Consumo de combustível na capacidade efetiva Líquida - $L\ t^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos, coeficientes de variação (%) e respectivos resultados para análise estatística.	78
Figura 40. Altura de corte - cm: carta de controle por tratamento.	80
Figura 41. Altura de corte - cm: frequência por tratamento.	81
Figura 42. Danos à soqueira: frequência por tratamento	82
Figura 43. Abalo de soqueira: frequência por tratamento.	83
Figura 44. Tamanho de rebolo - cm: carta de controle por tratamento.	84
Figura 45. Tamanho de rebolos - cm: frequência por tratamento.....	85
Figura 46. Cisalhamento de rebolos: frequência por tratamento.....	86
Figura 47. Diferença entre os cortes de base das máquinas John Deere (a) e Case IH (b).	96
Figura 48. Diferença entre o porte do canavial deitado (a) e ereto (b).	97

Figura 49. Produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	98
Figura 50. Velocidade de deslocamento ($km\ h^{-1}$): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	99
Figura 51. Capacidade de colheita bruta ($t\ h^{-1}$): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	100
Figura 52. Capacidade de colheita líquida – $t\ h^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	101
Figura 53. Eficácia de manipulação – %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	102
Figura 54. Matéria estranha mineral - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	103
Figura 55. Matéria estranha vegetal - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	104
Figura 56. Perdas totais – $t\ ha^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	105
Figura 57. Perdas totais – %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	106
Figura 58. Frequência de ocorrência de perdas subdividida pelo tipo de perda (%).	107
Figura 59. Perdas totais ($t\ ha^{-1}$): participação relativa por tipo (colmos soltos e/ou frações, estilhaços, rebolos e tocos).	109
Figura 60. Consumo de combustível ($L\ h^{-1}$): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	110
Figura 61. Consumo de combustível na Capacidade efetiva Bruta – $L\ t^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamento e coeficientes de variação (%). .	111
Figura 62. Consumo de combustível na capacidade efetiva Líquida – $L\ t^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	112
Figura 63. Altura de corte - cm: carta de controle por tratamento	113
Figura 64. Altura de corte - cm: frequência por tratamento.	114
Figura 65. Danos à soqueira: frequência por tratamento.	115
Figura 66. Abalo de soqueira: frequência por tratamento	116

Figura 67. Tamanho de rebolo - cm: carta de controle por tratamento	117
Figura 68. Tamanho de rebolos - cm: frequência por tratamento.....	118
Figura 69. Cisalhamento de rebolos: frequência por tratamento.....	119
Figura 70. Corte de base de central: a) Facas cortadoras; b) Facas recolhedoras.....	129
Figura 71. Espaçamento de plantio “triplo alternado” com três fileiras de 0,75 m com espaçamento entre fileiras de 1,50 m para tráfego de equipamentos.....	130
Figura 72. Produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	131
Figura 73. Velocidade real de colheita – $km\ h^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação.	132
Figura 74. Capacidade de colheita bruta ($t\ h^{-1}$): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	134
Figura 75. Capacidade de colheita líquida ($t\ h^{-1}$): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	135
Figura 76. Eficácia de Manipulação - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	136
Figura 77. Matéria estranha mineral - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	137
Figura 78. Matéria estranha vegetal - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	138
Figura 79. Perdas totais – $t\ ha^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	139
Figura 80. Perdas totais - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	140
Figura 81. Frequência de ocorrência de perdas subdividida pelo tipo de perda (%)....	141
Figura 82. Perdas totais ($t\ ha^{-1}$) participação relativa por tipo (colmos soltos e/ou suas frações, estilhaços, rebolos e tocos).....	142
Figura 83. Consumo específico de combustível bruto - $L\ t^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	143
Figura 84. Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta - $L\ t^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	144

Figura 85. Consumo de combustível na capacidade efetiva líquida - $L t^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).	145
Figura 86. Altura de corte - cm: carta de controle por tratamento.	147
Figura 87. Altura de corte - cm: frequência por tratamento	148
Figura 88. Danos à soqueira: frequência por tratamento	149
Figura 89. Abalo de soqueira: frequência por tratamento	150
Figura 90. Tamanho de reboło - cm: carta de controle por tratamento.	151
Figura 91. Tamanho de rebołos - cm: frequência por tratamento.	152
Figura 92. Cisalhamento de rebołos: frequência por tratamento	153
Figura 93. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($t h^{-1}$).	161
Figura 94. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Perdas totais ($t ha^{-1}$).	163
Figura 95. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Perdas totais (%).	164
Figura 96. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Matéria estranha vegetal (%).	165
Figura 97. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Matéria estranha mineral (%).	166
Figura 98. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Consumo de combustível ($L t^{-1}$).	167
Figura 99. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Consumo de combustível ($L h^{-1}$).	168
Figura 100. Comparativo de produtividade de espaçamento triplo alternado com espaçamento simples de 1,50 m em colheita de cana de primeiro corte e capacidade efetiva de colheita.	169
Figura 101. Capacidade operacional de colheita ($t h^{-1}$) em função da produtividade agrícola ($t ha^{-1}$).	170

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Introdução.

O gerenciamento do desempenho operacional de colhedoras é importante para a gestão dos processos agrícolas de colheita e tem impacto direto nos custos de produção de cana-de-açúcar. Utilizando-se as melhores ferramentas na gestão das máquinas e um refinado acompanhamento da qualidade de todas as etapas, pode-se aperfeiçoar o processo de colheita mecanizada. O uso de indicadores de desempenho e do controle estatístico de qualidade como ferramenta gerencial para a análise e a melhoria do processo são fundamentais para atingimento dos melhores resultados.

Desta forma, procurando contribuir para uma melhor compreensão do processo de colheita mecanizado de cana-de-açúcar, elaborou-se esta tese, que foi dividida em três etapas, sendo realizada a análise de desempenho de colhedoras de cana de duas ou mais fileiras por meio de ensaios padronizados em diferentes áreas e condições de canavial com três modelos de espaçamento: o espaçamento simples de 1,50 m (sendo colhidas duas fileiras), comparado com o espaçamento “triplo alternado” (três fileiras de 0,75 m x 1,50 m) e o duplo alternado de 0,90 m x 1,50 m. Todos os ensaios usaram a mesma metodologia e material para que os resultados pudessem ser comparados entre si, sendo que a única variação foi com relação às máquinas e suas configurações e a condição do canavial para cada um dos ensaios.

Os ensaios de colheita foram realizados durante a safra 2015/2016, sendo que os locais e espaçamentos colhidos são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Locais, datas, espaçamentos e condições dos canaviais dos ensaios.

Usina	Município	Ano	Espaçamento	Mês	Condições
Potirendaba	Potirendaba, SP	2015	0,90 m x 1,50 m	Abril	Parcialmente acamado
Clealco	Clementina, SP	2015	0,90 m x 1,50 m	Julho	Ereto e Deitado
Porto das Águas	Chapadão do Céu, GO	2015	Duplo 1,50 m e triplo alternado	Maio	Acamado

Esta tese se inicia com a apresentação, no capítulo 1, do referencial teórico necessário para a compreensão do trabalho, bem como para a verificação do estado da arte no que diz respeito ao desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar. No capítulo 2 é descrita de forma detalhada a metodologia e são apresentados os materiais utilizados em todos os ensaios.

No capítulo 3 são abordados os resultados dos ensaios das colhedoras de cana-de-açúcar Case IH A8800 *Multi-row* e John Deere 3522 em espaçamento duplo alternado (0,90 m x 1,50 m) realizado na Usina Potirendaba – Grupo Noble, na região de Catanduva, SP em um canavial de porte parcialmente acamado.

No capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios das colhedoras de cana-de-açúcar Case IH A8800 *Multi-row* e John Deere 3522 em espaçamento duplo alternado (0,90 m x 1,50 m), realizados na Usina Clealco, na região de Araçatuba, SP, em duas condições de canaviais, sendo um deles ereto e outro deitado.

No capítulo 5, são abordados os resultados dos ensaios da colhedora de cana-de-açúcar Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras em espaçamento simples de 1,50 m entre fileiras e colhendo o espaçamento experimental denominado de triplo alternado (0,75 m x 0,75 m x 1,50 m) na Usina Porto das Águas na região de Chapadão do Céu, GO em um canavial acamado.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as considerações finais do trabalho, sintetizando as avaliações de desempenho aqui realizadas comparativamente com o resultado de outras pesquisas já publicadas.

2. Objetivos.

1. Avaliar os indicadores de desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar em diferentes situações de canaviais e espaçamentos colhendo duas ou mais fileiras.
2. Analisar a qualidade de colheita para esses espaçamentos comparando com a colheita convencional de uma fileira.
3. Comparar os resultados dos ensaios padronizados com outras pesquisas que utilizaram a mesma metodologia.

3. Hipótese.

Comprovar que a colheita de duas ou mais fileiras é possível de ser realizada com índices de colheita aceitáveis.

4. Revisão de literatura.

4.1. Evolução da Colheita Mecanizada.

4.1.1. Uma visão da expansão da mecanização.

O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar, o maior produtor de etanol a partir da cana-de-açúcar e o segundo maior produtor de etanol mundial, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Em termos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol, o País produziu, na safra 2015/2016, cerca de 665 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, e desse montante foram gerados 33,5 milhões de toneladas de açúcar e 30,5 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2016). O maior volume de produção da cultura vem das unidades produtoras da região Centro-Sul (89%), que alcançou 592 milhões de toneladas no acumulado, desde o início da safra 2015/2016 até abril de 2016.

A colheita da cana-de-açúcar, caracterizada pelas operações de corte dos colmos, limpeza e seu carregamento em veículos de transporte, historicamente, sempre foi realizada manualmente, utilizando-se da queima prévia como método de pré-limpeza para remoção da palha (RIPOLI, 1996).

A preocupação com a mecanização da colheita teve início na Austrália, onde entre os anos de 1930 e 1950 surgiram as carregadoras de cana, porém, foi na década de 50 que surgiu o princípio mecânico de colheita que perdura até os dias de hoje, com a colheita de cana picada visando, a princípio, apenas o aproveitamento dos colmos, combinando a operação de corte com, limpeza e carregamento (BRAUNBECK et al., 2008).

No Brasil, o sistema de colheita manual predominou até o final da década de 1990, entretanto, o impacto das queimadas sobre a saúde e o meio ambiente somados

à legislação, além de questões agronômicas e energéticas, contribuíram para uma mudança significativa do método de colheita levando ao aumento gradual na colheita mecanizada sem a queima prévia dos canaviais (BELARDO et al., 2015).

Baseado nesse crescimento exponencial da taxa de mecanização, Tonette et al. (2009) realizaram uma modelagem matemática para calcular a demanda de colhedoras para as safras futuras e mensurar a frota total de máquinas no Brasil. Foram consideradas as seguintes premissas: cumprimento da legislação vigente adotando o Protocolo Agroambiental assinado por todas as usinas do Estado de São Paulo (GESP - Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 2007); eficiências operacionais de colheita de 45% (NERY, 2000); 150 dias úteis de trabalho, já subtraídos o número de feriados e de dias úteis impróprios (CONAB, 2008); jornada de trabalho de 24h; largura de trabalho de 1,50 m, pois é o espaçamento mais utilizado pelas usinas nacionais; velocidade de trabalho de 5,0 km h⁻¹, que segundo Ripoli (1999) é a velocidade em que se obtêm os melhores desempenhos na colheita com menores índices de perdas; e vida útil das colhedoras de 6 anos (BANCHI et al., 2008). Segundo este modelo, considerando 100% da colheita mecanizada na safra de 2014/2015, a frota de colhedoras atingiria aproximadamente 10.000 unidades (Figura 1), números muito próximos aos que efetivamente ocorreram nesse período.

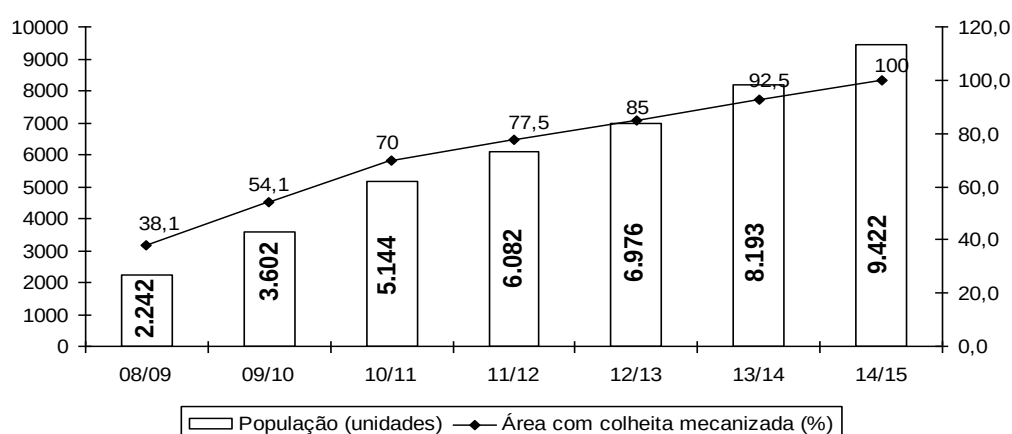


Figura 1. Evolução da colheita mecanizada de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil (%) e número de máquinas necessárias para colheita.

Fonte: Tonette et al. 2009.

Essa frota de colhedoras de cana mostra a relevância da mecanização da colheita no processo produtivo. Dentro do ciclo operacional gerado pela cana-de-açúcar, a colheita pode ser considerada como uma das mais importantes, pois a qualidade do produto entregue para a indústria depende desta etapa (MAGALHÃES et al., 1998).

No Centro-Sul canavieiro, maior produtor de cana-de-açúcar do país, o percentual de colheita mecanizada evoluiu de 28% em 2000 para 95% da área colhida em 2016 (Figura 2).

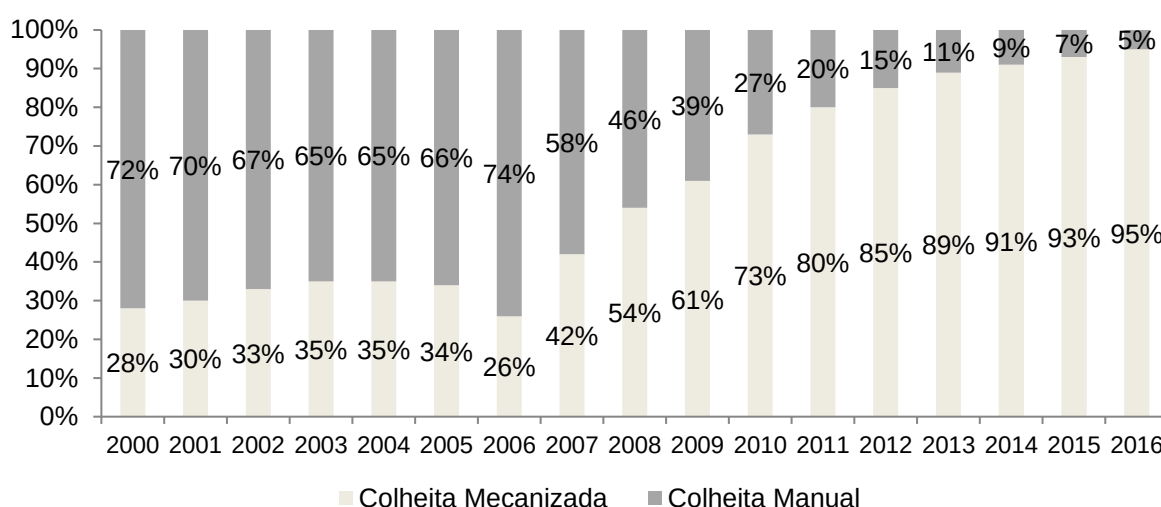


Figura 2. Evolução da colheita de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil e participação relativa (%) quanto a formas de colheita, manual e mecanizada.

Fonte: UNICA e CTC – adaptado de Neves et al. (2015).

Do ponto de vista econômico, Nunes Júnior et al. (2005) comentam que a colheita se destaca por custos elevados e alguns problemas envolvendo as operações agrícolas, seja essa conduzida de forma manual, semimecanizada ou mecanizada, exigindo atenção especial por parte da gestão agrícola nas usinas.

As razões para exemplificar as dificuldades nessa gestão, segundo Magalhães e Braunbeck (2010), é que o setor canavieiro enfrenta problemas pela escassez de tecnologia apropriada, que aliado à questão da sazonalidade da mão-de-obra, tem sobrecarregado o custo da produção levando o setor a enfrentar sérios impasses

financeiros. Na tentativa de reduzir custos e melhorar a rentabilidade, as usinas, a exemplo do que ocorreu nas demais culturas, têm optado por um sistema gradual de adoção de mecanização, principalmente da colheita.

Nos últimos anos, a adoção da mecanização em conjunto com o desenvolvimento de novas tecnologias nas colhedoras vem sendo responsável por uma redução acentuada nos custos da colheita mecanizada em relação à colheita manual, o que leva a uma majoritária adoção de colhedoras nos canaviais. Outros fatores que influenciam na taxa de adesão à mecanização são a escassez de mão de obra, a dificuldade de gerenciar o grande contingente de trabalhadores, pressões da legislação que proíbem a queima de cana para colheita e adoção de novas tecnologias mecanizadas do plantio à colheita, possibilitando ganhos de ordem operacional e econômicos (BELARDO, 2010).

4.1.2. O canavial (a relevância da produtividade, biometria, espaçamentos e porte do canavial).

O processo de colheita mecanizada de cana picada envolve 10 operações básicas realizadas pelas colhedoras autopropelidas: o corte dos ponteiros; o levantamento e alinhamento dos colmos deitados nas linhas de cana; o tombamento dos colmos para a ação de corte; o corte de base dos colmos; o levantamento dos colmos para dentro da máquina; o transporte dos colmos com separação de parte da terra captada no corte de base; a picagem dos colmos em rebolos; a ventilação e limpeza primária da palha; o transporte de rebolos por meio do elevador para descarga; a ventilação e limpeza secundária; e a descarga a granel dos rebolos nos veículos de transbordo (BELARDO et al. 2015)

Essa combinação de operações permite que o sistema de cana picada efetue o despalhe parcial e tenha melhor capacidade para a colheita de canaviais com maior incidência de tombamento, características essas que fizeram esse sistema prevalecer sobre outros. Esse processo ainda apresenta restrições relacionadas com qualidade e perdas de matéria-prima, compactação do solo, baixa estabilidade da colhedora em terrenos declivosos e capacidade restrita para a recuperação da palha, que exigem

uma análise crítica que possa abrir novos caminhos tecnológicos de desenvolvimento de processos de colheita menos restritivos (MAGALHÃES & BRAUNBECK, 2010).

Segundo Ripoli e Ripoli (2009) para análise de desempenho de colhedoras faz-se necessário o entendimento de algumas informações básicas sobre a caracterização da cultura que têm influência direta nos resultados de colheita, sendo elas: produtividade, biometria da cana-de-açúcar, porte do canavial e espaçamentos adotados.

Belardo et al. (2015) explicam que a produtividade do canavial é a quantidade de cana-de-açúcar disponível na área a ser colhida, mensurada em toneladas de cana por hectare ($t\ ha^{-1}$) e a biometria da cana-de-açúcar nada mais é do que a divisão dessa cana disponível no campo em quatro componentes: o colmo que vai do solo até o ponto fácil de ser quebrado (aproximadamente 80% da planta); o palmito que está acima deste ponto e que normalmente tem 200 mm de comprimento (aproximadamente 5%); folhas verdes do topo (aproximadamente 5%), e folhas secas aderidas aos colmos (aproximadamente 10%).

O porte do canavial, conforme Ripoli (1996), diz respeito à posição relativa em que os colmos se apresentam em relação ao terreno sendo classificados como: eretos, acamados ou deitados (Figura 3).

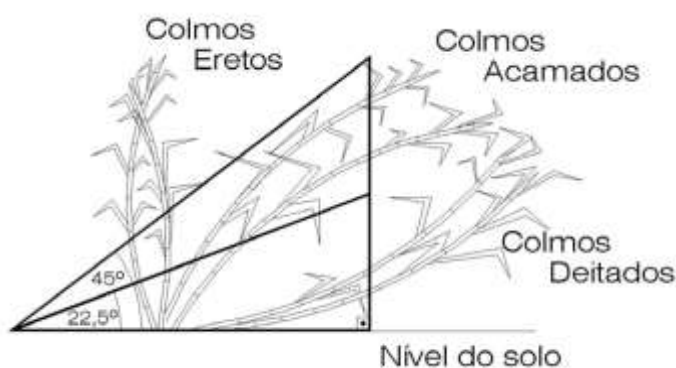


Figura 3. Critério para determinação do porte do canavial por meio de triângulo retângulo.

Fonte: Ripoli, 1996.

Para Ripoli e Ripoli (2009) citado por Rosa (2013), a definição prática para espaçamento de plantio (Figura 4), vem a ser a distância entre os sulcos ou as fileiras

de plantio, sendo que, quando este é equidistante durante toda a área. Diz-se que o espaçamento é simples, enquanto quando há variações na distância a partir de dois ou mais valores, diz-se que o espaçamento é alternado. Vale ressaltar que no caso do espaçamento alternado, em geral são realizados dois ou mais sulcos a partir do menor valor, por isso a denominação do espaçamento duplo ou triplo alternado.

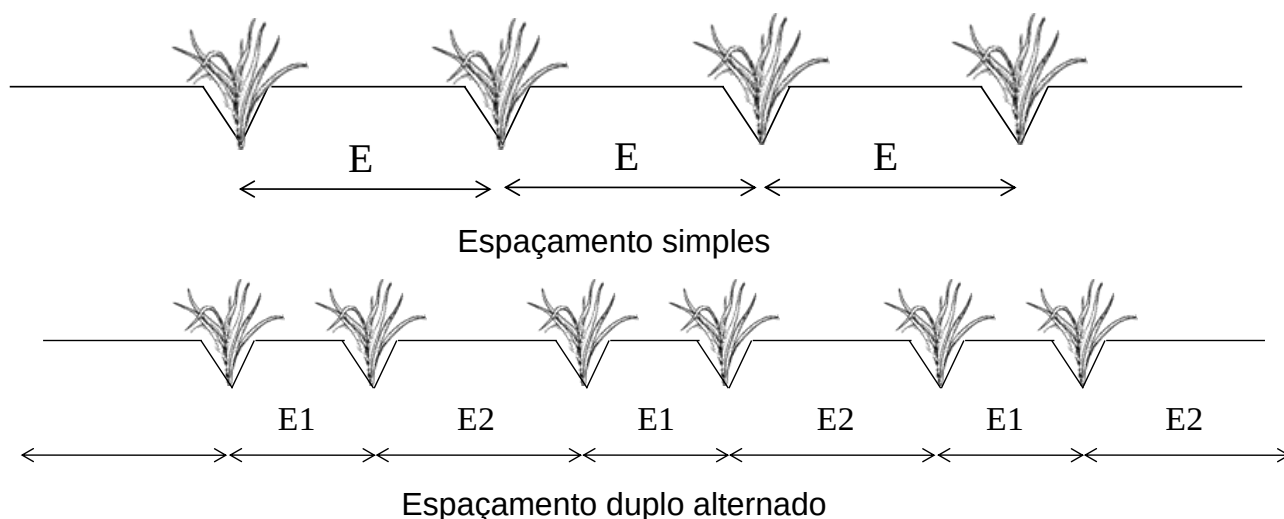


Figura 4. Esquema de espaçamento: simples e duplo alternado.

Fonte: Rosa, 2013.

4.1.3. Desempenho operacional de colhedoras de cana (conceitos e resultados de pesquisas).

Para Ripoli (1996) o desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar é o conjunto de atributos que caracterizam o grau de habilitação da máquina para a execução da operação de colheita sob determinadas condições operacionais. A análise do desempenho não deve limitar-se apenas à capacidade efetiva, em termos de $t\ h^{-1}$ ou $t\ máquina\ dia^{-1}$, devendo-se levar em conta, também, a qualidade da matéria-prima colhida, bem como os índices de perdas e a capacidade de campo operacional, que envolve todas as ineficiências logísticas da operação.

A matéria-prima desejável na indústria para a produção de açúcar e etanol pode ser definida como colmos em estágio adiantado de maturação, sadios, recém-cortados, normalmente despontados e livres de matéria estranha. Na qualidade de

matéria-prima colhida, os dois parâmetros avaliados são a matéria estranha vegetal e a matéria estranha mineral na carga colhida (RIPOLI et al. 1999).

Ripoli e Ripoli (2009), salientam que a matéria estranha vegetal é a quantidade de palha, folhas verdes, colmos secos, ponteiros e raízes (socas) que são carregados junto com a carga de rebolos no transbordo. Essas impurezas são até certo ponto controladas por meio de regulagens de rotações dos extratores primário e secundário (sistema de limpeza) das colhedoras. Valores aceitáveis para matéria estranha vegetais para Belardo et al. (2015) e Ripoli e Ripoli (1999) devem ser menores que 5%; já para Neves (2015a) esses valores são divididos em impureza baixa (menor que 3%), média (entre 3 a 6%) e alta (acima de 6%) e esses indicadores são os utilizados nas avaliações do CTC (Centro de Tecnologia Canavieira).

A matéria estranha mineral é considerada a quantidade de terra e pedras que é levada junto com a carga de rebolos, e nesse caso, o controle dessas impurezas deve ser realizado primeiramente com a regulagem da altura do corte de base, responsável pelo arraste ou não de terra para dentro da colhedora e em segundo pelos extratores primário e secundário que ajudam na limpeza dos rebolos. Para o controle de matéria estranha minerais, as colhedoras contam com dispositivos que fazem o controle automático da altura do corte de base sem a influência do operador, facilitando o controle e diminuindo a quantidade de terra na carga colhida (RIPOLI e RIPOLI 2009); (BELARDO et al., 2015).

Devido ao seu sistema construtivo, o desempenho do sistema de corte de base é influenciado prioritariamente pelo porte do canavial e não pelo mecanismo de controle (SALVI et al., 2007), sendo comum encontrar solo aderido ao mecanismo de corte, de alimentação, e no capuz do extrator primário da colhedora. Isto ocorre principalmente em canaviais de alta produtividade, quando os colmos estão acamados ou deitados e que necessitam de um ajuste do cortador de base mais rente ao solo, resultando em maior movimentação de terra e consequentemente maior nível de contaminações minerais. Índices aceitáveis não devem ser maiores que 1% segundo Belardo et al. (2015); Neves (2015a) classifica como baixo menor que 0,3%, entre 0,3 a 0,7%, médio e acima de 0,7% alto, enquanto que Ripoli e Ripoli (2009) classificam como índices aceitáveis abaixo de 1,5%.

Um dos fatores mais relevantes na avaliação de desempenho de colhedoras é o índice de perdas que podem ser divididas em duas componentes: perdas visíveis e invisíveis (NEVES, 2004).

Para Belardo et al. (2015), as perdas denominadas visíveis podem ser detectadas no campo após a colheita, sendo constituídas principalmente por: colmos inteiros e suas frações, frações de colmos e rebolos (estilhaços ou lascas), rebolos (vulgarmente denominados de “tolete”), ponteiros e toco. Podemos destacar as seguintes classificações com relação a cada uma dessas perdas:

- a) Colmos inteiros e suas frações: fração de cana com tamanho igual ou superior a 2/3 do comprimento dos colmos, em que a principal razão das perdas está atrelada à alimentação dos colmos após o corte e o não recolhimento dos mesmos pela colhedora.
- b) Frações de colmos e rebolos (estilhaços): fragmentos de cana e rebolos dilacerados referentes principalmente aos rebolos que passaram pelo sistema de limpeza da colhedora e foram estilhaçados pelas hélices dos extratores primário e secundário, ou colmos que foram “repicados” no corte de base.
- c) Rebolos (“toletes”): são perdas relacionadas ao sistema do elevador e que podem estar associados a perdas no “cesto” do elevador, após o colmo ser picado em rebolos e lançados para serem descarregados, mas, principalmente atrelados à transferência de carga e falta de sincronismo entre colhedora e transbordo.
- d) Ponteiros: são pedaços de colmos aderidos aos palmitos, estando relacionados à regulagem e altura do corte de pontas.
- e) Tocos: são frações dos colmos cortadas acima da superfície do solo, presas às raízes não arrancadas, com comprimento maior ou igual a 5 cm, resultantes da altura do corte basal acima do nível desejado, no intuito de reduzir a contaminação da carga com matéria estranha minerais.

Ainda segundo Belardo et al. (2015), valores aceitáveis de perdas visíveis totais, a soma de todas as determinações citadas anteriormente, considerados satisfatórios pelas Usinas estão abaixo de 4,0 t ha⁻¹, e percentualmente abaixo de 5%. Já Neves (2015b) que classifica as perdas de forma percentual, considera menor que 2,5% níveis baixos, entre 2,5 e 4,5% médios e acima de 4,5% alto. Além destas perdas

devemos mencionar as perdas associadas com arranquio de soqueiras, que embora não sejam frequentemente computadas, são reconhecidamente importantes, pois afetam a longevidade do canavial.

Para Neves (2004), as perdas na forma de caldo, serragem e estilhaços de cana, que ocorrem devido à ação de mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana durante o processamento interno nas colhedoras, são definidas como perdas invisíveis, e podem chegar a até 10%, não sendo avaliadas durante o levantamento de perdas das colhedoras devido à dificuldade de mensuração em campo.

Como referência de dados de pesquisas podemos citar o trabalho de Belardo (2010), que utilizando a mesma metodologia dessa tese, analisando as perdas visíveis de matéria-prima das três principais colhedoras de cana fabricadas no Brasil, trabalhando em duas velocidades de colheita em canaviais de 115 t ha⁻¹ e porte ereto, encontrou: 1,2 t ha⁻¹ de perdas referentes a tocos; 0,3 t ha⁻¹ perdas relacionadas a colmos e suas frações; 1,3 t ha⁻¹ de perdas de fração de rebolos ou estilhaços e 0,3 t ha⁻¹ de perdas referentes a rebolos.

Somando-se todas as perdas mencionadas para mensuração da perda total, o valor médio encontrado foi de 3,0 t ha⁻¹, sendo que o pior resultado atingiu valor máximo de 3,6 t ha⁻¹, em valores percentuais ficaram entre 2,6% e 3,1%, ou seja, dentro dos valores aceitáveis nas unidades produtoras de cana-de-açúcar em t ha⁻¹ e em porcentagem.

Além dos parâmetros relacionados a perdas e qualidade de matéria-prima colhida, para a análise completa de desempenho dos sistemas de colheita, a avaliação da capacidade de campo operacional é fundamental, pois consideram todas as ineficiências operacionais inerentes à operação em campo como: tempo de manobra, parada de máquinas para manutenção, problemas logísticos (falta de transbordo e/ou caminhão), troca de turnos de operadores, entre outras (RIPOLI E RIPOLI, 2009).

Segundo Belardo et al. (2015), a capacidade de campo operacional tem relação direta com os custos de produção, pois a colheita representa parcela significativa do custo agrícola. Considerando a necessidade de redução de custos para aumento de competitividade, o setor vem buscando alternativas para melhorar os índices de

colheita ($t\ h^{-1}$ e $t\ máquina\ dia^{-1}$). Levando-se em conta os conceitos de capacidade de campo operacional existem ações de gestão para melhorar as eficiências globais, como por exemplo: sistematização das áreas usando técnicas de conservação de solo e da água, preparo de solo e plantio voltados para a colheita, manejo varietal planejado para época de colheita e uso de agricultura de precisão.

Os autores citam que especificamente relacionados à colheita mecanizada, na busca de aumentar as eficiências operacionais das máquinas, ressalta-se como principais caminhos encontrados: o aumento da velocidade de colheita e/ou colher mais de uma fileira por vez.

Ripoli e Ripoli (2009) afirmam que com o aumento de velocidade há um incremento da capacidade efetiva de colheita. A opção do aumento da velocidade de deslocamento foi analisada por Belardo (2010) confirmando que a velocidade de deslocamento das colhedoras de cana-de-açúcar é diretamente influenciada pelas condições da cultura e do terreno do canavial e que mesmo aumentando a velocidade, é possível atingir bons níveis de qualidade na colheita.

Ao operar em canaviais definidos como eretos, os principais resultados obtidos, relacionados a perdas e qualidade de matéria-prima colhida, não apresentaram diferenças significativas entre as máquinas colhendo em duas velocidades ($5,0\ km\ h^{-1}$ e $7,0\ km\ h^{-1}$) mantendo-se em níveis aceitáveis. Porém, como esperado, a capacidade de campo efetiva apresentou resultados melhores na velocidade de colheita maior sendo que nesses casos o consumo de combustível por tonelada de cana colhida foi menor, trazendo ganhos de ordem econômica. Os ganhos foram de 39% em capacidade efetiva bruta passando de $86,48\ t\ h^{-1}$ para $120,14\ t\ h^{-1}$ e uma redução de 33% em consumo de $0,68\ L\ t^{-1}$ para $0,51\ L\ t^{-1}$.

Nesse mesmo trabalho concluiu que, uma vez que as condições da área a ser colhida sejam favoráveis, o aumento da velocidade de colheita se mostra uma alternativa para melhorar o aproveitamento das máquinas aumentando a eficiência operacional.

Por outro lado, Ripoli e Ripoli (2009) comentam que atualmente no Brasil a velocidade de colheita tem se concentrado entre $4,0$ a $6,0\ km\ h^{-1}$, principalmente devido às condições do canavial e das áreas a serem colhidas (falta de sistematização, má qualidade do preparo de solo e plantio, micro relevo insatisfatório

durante a colheita além da alta incidência de canaviais acamados e deitados). Entretanto, sabemos que os modelos de colhedoras atuais podem trabalhar com velocidades superiores a $10,0 \text{ km h}^{-1}$ em condições ideais de colheita e com queima prévia, como acontece na Austrália.

Desta forma, a velocidade deve ser ajustada em função das características de cada área, devendo ser analisadas: declividade do terreno, tipo de solo, seu micro relevo, comprimento do talhão, porte do canavial e a produtividade agrícola do mesmo.

A outra forma de aumento de capacidade efetiva e operacional de colhedoras é colher mais de uma fileira simultaneamente, sendo que o desenvolvimento de máquinas aptas a colher duas fileiras para aumentar as eficiências operacionais, traz outros reflexos positivos como a redução do tráfego no talhão e, conseqüentemente, menor compactação de solo além da redução do custo de colheita (BELARDO et al. 2015).

Dalben (2011), que fez um estudo sobre o desempenho operacional de colhedoras de duas fileiras de cana-de-açúcar, relatou que o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida foi 60% menor nesse tipo de máquina, e que a capacidade operacional dessas máquinas foi, em média, 80% superior às colhedoras de uma fileira.

Porém, vale ressaltar que, a adoção da colheita de fileiras duplas também traz dificuldades a serem superadas, como a necessidade de aumento da capacidade de recolhimento e processamento da colhedora (biomassa processada por unidade de tempo), associada normalmente a maiores níveis de perdas e, eventualmente, à redução da qualidade da matéria-prima colhida, além da necessidade de ajustes na logística para manter a colhedora em seu melhor nível operacional mediante as condições de colheita (BELARDO, 2015).

O trabalho realizado por Rosa (2013) mostra os benefícios da possibilidade de colher mais de uma fileira simultaneamente. Avaliando uma colhedora de cana em espaçamento duplo alternado e comparando os resultados obtidos com trabalhos de outros autores, que avaliaram o desempenho de colhedoras de uma fileira, concluiu que colhendo a uma mesma velocidade de trabalho, a capacidade de colheita da máquina colhendo duas fileiras foi consideravelmente melhor, atingindo índices

maiores. Esse aumento significativo pode ser atribuído, além da colheita simultânea de duas fileiras, à alta produtividade agrícola do canavial avaliado ($156,9 \text{ t ha}^{-1}$).

A respeito da qualidade da operação de colheita, os valores encontrados por Rosa (2013) para matéria estranha mineral e vegetal ficaram dentro dos limites aceitáveis. Já os índices de perdas visíveis mostraram-se mais elevados, atingindo perdas totais médias de $6,4$ e $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ ($4,1\%$ e $4,6\%$, respectivamente), sendo considerados altos em tonelada por hectare e no limite máximo, porém aceitável, em porcentagem, uma observação importante a ser realizada é que metade das repetições estiveram acima de $6,9 \text{ t ha}^{-1}$.

Quando comparamos esses resultados com os trabalhos avaliando colhedoras de uma fileira nota-se praticamente o dobro de perdas sendo que, dentre os tipos de perdas levantados, o que chama mais a atenção são os “tocos na soqueira”, correspondendo, em média, por cerca de 30% do total de perdas. Pode-se atribuir o aumento da incidência de perdas de “tocos” ao sistema de corte basal (ROSA, 2013).

Além do aumento desse tipo específico de perda, existe a maior possibilidade de arranquio de soqueiras e aumento de matéria estranha mineral, relacionados ao fato do sistema de corte de base da colhedora avaliada ser de uma caixa rígida com os discos de corte de base fixos, razão pela qual os discos e facas de corte não conseguem acompanhar o perfil do terreno, ignorando os sulcos e os “camalhões” (VOLPATO et al., 2002). Nesse caso, qualquer desnível do solo, que faça com que a máquina fique inclinada, gera uma diferença significativa de altura de corte entre as fileiras elevando as perdas de tocos ou levando ao arranquio de soqueira, provocando danos com reflexos na brotação e produtividade da cana soca (BELARDO et al., 2015).

Rosa (2013) salienta que em termos de consumo de combustível, os resultados também se mostraram competitivos, sendo que, apesar do consumo horário (L h^{-1}) ser superior, dada à maior exigência da máquina pela alta produtividade do canavial, os valores por tonelada colhida (L t^{-1}), foram praticamente a metade daqueles verificados para colheita de uma fileira.

Levantamentos recentes de desempenho operacional de colhedoras de cana de duas fileiras, realizados nas Usinas que vem adotando essa prática, confirmam que os índices de perdas para colheita de duas fileiras (espaçamentos simples ou

alternados) são praticamente o dobro dos resultados obtidos com colhedoras de uma fileira. Podemos afirmar que os índices de perdas passam a ser um gargalo e ponto de atenção quando adotado esse modelo de colheita mecanizada de múltiplas fileiras (BELARDO et al. 2015).

4.1.4. Pisoteio e tráfego na colheita.

Se por um lado nas últimas décadas tivemos notória evolução nas tecnologias de fitopatologia, entomologia, fertilidade e adubação do solo, a questão do pisoteio pelo tráfego foi, exponencialmente agravada com a introdução de máquinas e veículos cada vez mais pesados. Ao se analisar a sequência de operações que caracteriza o processo de produção de cana-de-açúcar, constata-se que é exatamente durante a colheita que ocorre a maior incidência de pisoteio (MIALHE, 2004).

Para entender melhor o conceito de pisoteio e tráfego na cultura da cana-de-açúcar, faz-se necessário saber que é fundamental que exista um afastamento de segurança entre a máquina e a cultura, que conforme Mialhe (1996) corresponde ao afastamento lateral, de ambos os lados do eixo da fileira de plantas, a partir do qual a passagem da roda é inócua tanto a parte aérea como ao sistema radicular.

Para a cana-de-açúcar segundo Ripoli e Ripoli (2009) os espaçamentos que melhor se adequam ao vão livre horizontal dos atuais veículos de transporte canavieiro e colhedoras de cana encontram-se entre 1,50 m a 1,90 m. Os autores consideram 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. Se consideramos uma soqueira com aproximadamente 0,40 m de largura devido ao perfilhamento lateral para ambos os lados do centro da fileira de cana-de-açúcar, podemos concluir que o afastamento de segurança entre a lateral da borda da soqueira e a lateral do rodado dos equipamentos para cana-de-açúcar deve ser no mínimo 0,15 m considerando as definições mencionadas por Mialhe (1996) e Ripoli e Ripoli (2009).

Para os atuais modelos de colhedoras de cana de uma fileira disponíveis no mercado, pode-se afirmar que o menor espaçamento entre fileiras possível de ser adotado em áreas de colheita mecanizada que respeitem esse conceito é o espaçamento simples de 1,50 m, sendo que canaviais com espaçamentos menores

ficam sujeitos ao tráfego das máquinas sobre as linhas, podendo causar danos às soqueiras (BELARDO et al. 2015). Para Ripoli e Ripoli (2009), o espaçamento que melhor se enquadra para respeitar o afastamento de segurança, por sua vez seria o simples de 1,90 m. Especial atenção tem que ser dada a todas as operações do plantio a colheita, pois qualquer descuido por parte do operador ou ainda uma operação de sulcação e plantio malfeita em termos de alinhamento, pode resultar em danos à soqueira na colheita.

Uma ação que pode ser tomada para minimizar o efeito de pisoteio é a opção do uso de colhedoras de cana com esteiras de 16 polegadas ou 400 mm de largura (do material rodante, vulgarmente chamado de “sapata”), mais estreitas e que melhoram o afastamento de segurança entre a borda lateral do rodado e o ponto mais próximo da soqueira. Porém a grande maioria dos fabricantes usam esteiras de 18 polegadas ou 450 mm de largura (BELARDO et al. 2015).

A escolha do material rodante mais estreito é uma ação importante, porém, a melhor solução para evitar o pisoteio de soqueira por algum desvio na operação que prejudique o afastamento de segurança tem sido o uso de piloto automático com correção de sinal via RTK, uma ferramenta eficiente para controlar o tráfego e minimizar o pisoteio de soqueira e compactação solo, possibilitando trafegar com erros da ordem de 2 a 5 cm. Baio e Moratelli (2011), comprovaram que sem o uso de GPS com correção RTK o erro médio é de 17 cm e conseguiram atingir resultados médios de 3,3 cm com o uso do sistema, confirmando que o uso desse equipamento é controlável e positivo para o controle de tráfego.

Considerando os conceitos apresentados, conclui-se que a adoção do sistema de plantio com espaçamento de 1,50 m, é o menor espaçamento entre fileiras que se adequa ao afastamento de segurança e por isso tem influência direta no sistema de colheita utilizado atualmente, pois esse espaçamento viabiliza a melhor relação custo-benefício do ponto de vista de produtividade, espaçamento e aplicação de mecanização.

Mais recentemente, com a possibilidade de colheita de duas ou mais fileiras passou-se a adotar um novo conceito, que foi denominado por Mialhe (1996) como largura da faixa de tráfego (LFT) também denominado por algumas usinas como “canteirização”. Isso nada mais é do que a criação de “canteiros” viabilizando que

todos os equipamentos trafeguem na mesma área, desde a operação de preparo de solo e plantio até a colheita obedecendo a uma faixa de tráfego pré-determinada. As principais opções de LFT adotadas atualmente são na largura de tráfego de 2,40 m para o espaçamento duplo alternado e 3,00 m para colheita de duas fileiras de espaçamento simples de 1,50 m. Nessas opções preconiza-se o uso de equipamentos com bitolas de 2,40 m e 3,00 m, respectivamente, buscando menor pisoteio e compactação da área.

Belardo et al. (2015) comentam que com a adoção da LFT nesses espaçamentos, faz-se necessário a adequação dos demais equipamentos que farão as operações de plantio, tratos culturais e colheita como: tratores, transbordos, pulverizadores, implementos, entre outros. No espaçamento duplo alternado, por exemplo, considerando as principais colhedoras comercializadas para atuar nesse espaçamento, nota-se que, embora o espaçamento de 0,90 x 1,50 m proporcione maior distância entre o rodado da colhedora e a fileira de cana, comparativamente ao espaçamento de 1,50 m, o problema passa a ser a adequação dos veículos de transbordo.

Rosa (2013) cita que no caso do espaçamento duplo alternado, a principal colhedora comercializada para atuar nesse espaçamento, cujo modelo foi avaliado em seu trabalho, nota-se que ainda que o espaçamento de 0,90 x 1,50 m proporcione uma maior distância entre o rodado da colhedora e a fileira de cana, comparativamente ao espaçamento de 1,50 m, 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. Nesse caso qualquer descuido do operador do conjunto trator e transbordo pode acarretar no pisoteio da soqueira do canavial, principalmente quando esse conjunto é formado por um trator e dois ou mais transbordos, que são muito mais difíceis de serem controlados e normalmente desviam do traçado original em áreas de maior declividade.

Existem dúvidas sobre qual o espaçamento ideal de plantio e trabalhos realizados na Austrália, Estados Unidos, África do Sul e Brasil divergem sobre qual seria o espaçamento mais produtivo principalmente relacionado a diferentes ambientes de produção, entretanto, é fundamental que nessa definição o controle de tráfego, pisoteio de soqueira e consequente compactação de solo e longevidade do

canavial sejam fatores determinantes na tomada de decisões, afinal esse vem sendo um dos principais fatores correlacionados à estagnação da produtividade agrícola da cana-de-açúcar no Brasil (BERNARDES e BELARDO, 2015). O assunto sobre qual espaçamento utilizar é extenso e essa definição deve ser tomada sob o ponto de vista agrônomo, aliado às variáveis operacionais, sendo a principal delas a adoção da mecanização.

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

A produtividade das culturas depende de um equilíbrio entre as condições de solo adequadas para o crescimento das plantas (solo friável) e as necessárias para as operações mecanizadas (solo compactado). As plantas necessitam de condições de solo propícias para o crescimento das raízes, com boa aeração e suprimento adequado de água, enquanto as operações mecanizadas requerem condições de solo compactado para a tração e para suportar as cargas impostas (TULLBERG et al., 2007).

Essas características têm sido obtidas com o uso do controle de tráfego agrícola (BRAUNBACK et al., 2006), uma importante prática que tem como objetivo uma resposta direta aos problemas da compactação do solo, preservando as condições de solo ideais para o crescimento das culturas.

4.1.5. Evolução das colhedoras de cana.

Segundo Ramos (2013), no mercado atual, as colhedoras de cana-de-açúcar estão sendo desenvolvidas para a otimização do processo de colheita, adquirindo tecnologia de ponta, simplificando dessa forma a operação de colheita para os operadores, além de gerar dados que facilitam o gerenciamento das informações de campo e, principalmente, melhorando o aproveitamento energético, a qualidade do material colhido e o rendimento operacional. Os sistemas de colheita de cana-de-açúcar têm sido muito discutidos, para que as modificações futuras venham a atender de forma mais adequada às particularidades de cada sistema de produção.

Segundo Belardo et al. (2015), com a evolução da mecanização e novos desenvolvimentos dos fabricantes de máquinas agrícolas, novas opções de colhedoras de cana com mais tecnologia vêm sendo lançadas no mercado, possibilitando colher mecanicamente além dos espaçamentos convencionais de 1,00 m, 1,10 m, 1,40 m e 1,50 m entre fileiras, que ainda representam mais de 75% da área plantada no Brasil, novos espaçamentos como os duplos alternados. Nesse último caso, vêm sendo difundidos e adotados os espaçamentos de 0,90 x 1,50 m (o mais plantado) e 0,90 x 1,60 m, com o intuito de reduzir os danos à soqueira e o tráfego no canavial, além de permitir melhor desenvolvimento da planta.

Para que seja possível cortar as fileiras duplas nesses espaçamentos, é necessário que a largura do corte de base das novas colhedoras seja maior do que das máquinas convencionais de uma fileira. Algumas pesquisas foram realizadas nas décadas de 80 e 90, quando a Austoft testou e avaliou protótipos de colhedoras de cana com uma caixa de corte de base fixa maior, mas que não chegou a evoluir para uma máquina comercial. Na mesma época, a fabricante Claas produzia as máquinas C3000, Vantor e Gladiator com largura entre os discos de corte maiores. Utilizando discos de maior diâmetro e que nessa configuração, possibilitavam colher duas fileiras de espaçamentos reduzidos simples entre 1,00 m e 1,10 m com resultados satisfatórios (BELARDO et al., 2015).

Os autores salientam que a fabricante de equipamentos AGCO (antiga Santal adquirida em 2012) que fabrica a colhedora Valtra BE1035e, disponibiliza há alguns anos um kit para colheita de espaçamentos reduzidos que pode ser utilizado na colheita dos espaçamentos duplos alternados (Figura 5). Esse modelo de máquina foi desenvolvido em um primeiro momento para a colheita de espaçamentos simples reduzidos de 1,00 m e 1,10 m utilizados no Nordeste. Benedini e Conde (2008) advertem, porém, que a mecanização da colheita de cana-de-açúcar realizada em espaçamentos simples entre fileiras reduzidos (0,90 a 1,10m) tornava ainda mais grave os efeitos do pisoteio e compactação do solo, já que ocorre diminuição da área reservada para o tráfego. Os autores citam que a ação do pisoteio foi quantificada em torno de 10 t ha⁻¹ de redução de produtividade em uma safra, devido a não conformidade das bitolas dos equipamentos.

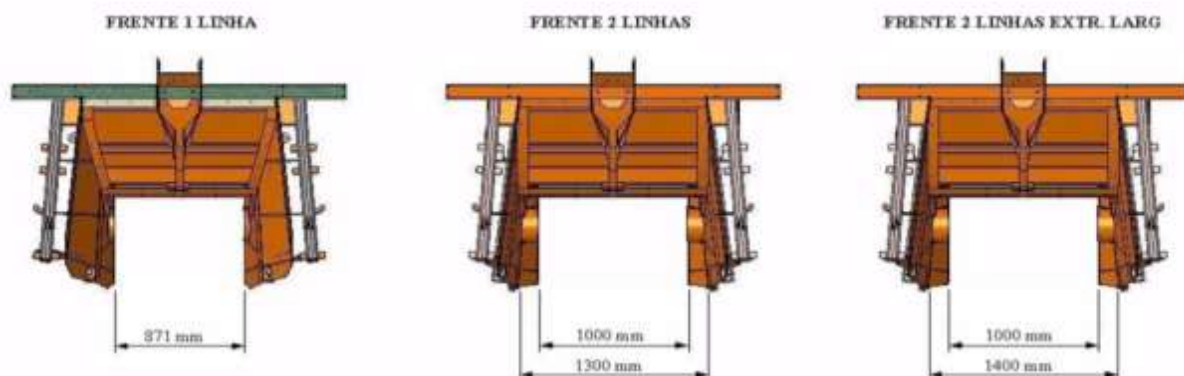


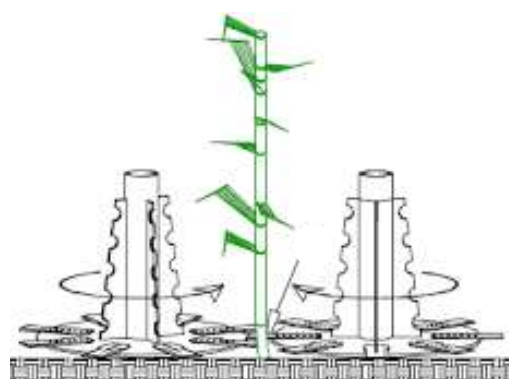
Figura 5. Kit de frente intercambiável disponibilizado para as Colhedoras Santal.

Fonte: Gobesso, 2007.

Em 2011, a John Deere lançou o modelo de colhedora 3522 (Figura 6), que possui a caixa de corte de base maior e discos de corte de maior diâmetro, que permite colher duas fileiras com espaçamento entre fileiras de 0,90 m, o que levou o mercado a voltar a ter novas opções de plantio de espaçamento reduzido passíveis de adoção de colheita mecanizada, fato esse que levou à difusão e adoção do espaçamento duplo alternado principalmente devido a ganhos operacionais e aumento na capacidade efetiva e operacional de colheita. Além disso, nessa máquina a bitola foi ajustada para 2,40 m para atender o tráfego controlado na entrelinha da cultura (COELHO, 2012).



a)



b)

Figura 6. Modelo de corte de base da Colhedora John Deere 3522 (a); Detalhe do corte de base mais largo com discos de corte fixos (b).

Fonte: Coelho, 2012.

Furlani Neto (1995), discorrendo sobre a sulcação a partir de sulcos alternados duplos, concluiu que os objetivos com a adoção do sistema são: a) colheita simultânea de duas fileiras; b) maior controle de tráfego no talhão; c) diminuição da distância percorrida pelos maquinários na área; d) aumento da longevidade e produtividade do canavial; f) aumento das capacidades operacionais e, por fim; g) diminuição dos custos operacionais. O autor destaca ainda que uma dificuldade no corte simultâneo de duas fileiras é o nível e o paralelismo entre fileiras que se encontram no campo, relacionadas principalmente ao preparo e/ou à sistematização ineficientes, aumentando a incidência de perdas de “tocos” no corte de base (Figura 7) ou, no caso de se abaixar o nível do corte, no maior risco de “arranquio” de soqueiras decorrente dos discos de corte fixos (ROSA, 2013).

Essa perda de tocos mencionada está sendo comprovada em campo e nas pesquisas e ensaios relacionados ao espaçamento duplo alternado como o realizado por Rosa (2013) e deve ser ponto de atenção no controle de qualidade de perdas na colheita, principalmente em canaviais acamados e deitados, de alta produtividade, onde a incidência de perdas é ainda maior.

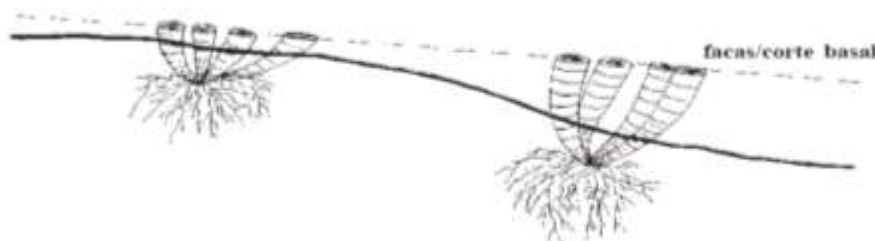


Figura 7. Detalhe do corte de base em sulcos duplos e a presença de "tocos altos" e/ou arranquio de uma das fileiras.

Fonte: Furlani Neto, 1995.

Belardo et al. (2015) acrescentam que mais recentemente, em 2013, a fabricante de colhedora Case IH lançou um modelo de colhedora de cana para colheita de duas fileiras simultâneas denominado Colhedora de Cana A8800 *Multi-row* (Figura 8), que apresenta um sistema diferente de corte de base até então utilizado. Esse sistema conta com dois discos de corte individuais acoplados sob os divisores de linhas que trabalham independentemente um do outro. Essa configuração tende a

minimizar o arranquio de soqueiras e/ou perdas por “tocos altos”, pois possibilita a regulagem de altura de corte e o ângulo de ataque dos discos para cada fileira individualmente. Além dessa regulagem, os divisores de linhas e os discos de corte de base são ajustáveis longitudinalmente, permitindo a abertura e o fechamento do conjunto, viabilizando a colheita de diferentes espaçamentos duplos com a mesma máquina.

Resumidamente, com os divisores de linhas e discos de corte de base “fechados”, possibilita-se a colheita dos espaçamentos reduzidos e duplos alternados (Figura 8 – item a), com os divisores de linhas regulados na abertura máxima, a colhedora pode colher duas fileiras de espaçamentos de 1,40 m e 1,50 m (Figura 8 – item b). Nesse modelo de máquina, a caixa do corte de base fixa original da colhedora de uma fileira permanece na mesma posição, e passa a ter a função de alimentação para dentro da máquina dos colmos de cana cortados pelos discos localizados nos divisores de linhas ao invés da função de corte de base dos colmos.



a)



b)

Figura 8. Colhedora Case IH A8800 *Multi-row*: divisores de linhas fechado para colheita de espaçamentos duplos alternados (a); divisores de linhas aberta para colheita de duas fileiras de 1,5 m (b).

Fonte: Folheto Case IH, 2015.

Considerando as opções de máquinas no mercado, com relação aos sistemas de corte de base, podemos notar que, com os últimos desenvolvimentos dos fabricantes, novas opções de espaçamento podem ser adotadas nas áreas canavieiras. Em termos estruturais, as diferenças entre as colhedoras de uma ou duas fileiras são basicamente quanto às dimensões de bitola, largura da frente da máquina ou “boca” de alimentação, diâmetro dos discos, distância entre eixos dos discos de corte de base e distâncias dos divisores de linhas, sendo maiores nos modelos de duas ou mais fileiras (ROSA, 2013) conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2. Comparativo entre as principais características dos modelos de colhedoras mais comercializadas no Brasil.

Características	John Deere		Valtra		Case	
	3522	3520	BE 1035		8800 MR	8800
Nº de fileiras que colhe	2	1	2	1	2	1
Potência (kw / cv)	342/251	342/251	350/254	350/254	358/260	358/260
Massa (kg)	19.300	19.050	21.100	20.900	20.600	18.300
Rodado	Esteira	Esteira	Esteira	Esteira	Esteira	Esteira
Nº de lâminas por disco	5	5	6	7	12	5
Nº de exaustores	2	2	2	2	2	2
Bitolas (m)	2,40	1,90	2,40	1,90	2,40 e 3,00	1,90
Distância entre eixos (m)	2,97	2,97	3,39	3,39	2,96	2,96
Largura da esteira (m)	0,40	0,40 / 0,45	0,40	0,45	0,40 / 0,45	0,40 / 0,45
Largura de alimentação (m)	1,35	1,00	1,30	0,97	2,50	1,00
Diâmetro discos corte (m)	0,84	0,56	0,83	0,58	1,00	0,57
Distância entre eixos dos discos de corte base (m)	0,91	0,62	0,86	0,67	0,65 a 1,50	0,63
Altura (m)	6,23	6,23	5,50	5,50	6,30	6,30
Comprimento (m)	15,48	15,14	14,20	14,20	16,90	15,84

Fonte: Belardo et al. (2015).

Uma informação relevante correlacionado a essas máquinas é a diferença entre as bitolas entre colhedoras de uma e duas fileiras, sendo a bitola de 1,90 m para máquina de uma fileira, 2,40 m para máquinas de duas fileiras no espaçamento duplo

alternado e/ou duas fileiras de 1,40 m e 1,50 m e a possibilidade de configuração de 3,00 m para a colheita de duas fileiras de espaçamentos simples de 1,40 m e 1,50 m.

A definição sobre a configuração de bitola de máquinas é extremamente importante para diminuir o pisoteio de soqueira e minimizar a área de compactação de solo. Furlani Neto (2009) ressalta o espaçamento duplo alternado como sendo uma ótima alternativa para o controle de tráfego, resultando simultaneamente em menores distâncias percorridas pelas máquinas e maior quantidade de metros de sulco por hectare quando comparados com a colheita de uma fileira (Tabela 3).

Tabela 3. Comprimento de sulco por hectare e distância percorrida pela colhedora de acordo com espaçamento adotado.

Espaçamento (metros)	Tipo	Comprimento de sulco por hectare (m ha⁻¹)	Distância Percorrida pela Máquina (m ha⁻¹)
0,90 x 1,50	Duplo alternado	8.332	4.166
0,90 x 1,60	Duplo alternado	8.000	4.000
1,40	Simples	7.142	7.142
1,50	Simples	6.666	6.666

Fonte: Furlani Neto (2009), adaptado.

Belardo (2012) mostra que, com novas opções de colhedoras capazes de colher duas fileiras de 1,40 m e 1,50 m, é possível diminuir ainda mais o tráfego nas áreas e a distância percorrida pela máquina por área colhida resultando em: menor compactação, maior longevidade dos canaviais e melhores eficiências operacionais devido à menor quantidade de manobras de cabeceira, aumentando assim as eficiências globais de colheita (Tabela 4).

Tabela 4. Metros de sulco por hectare e distância percorrida pela colhedora para colheita de duas fileiras de espaçamento simples.

Espaçamento (metros)	Tipo	Comprimento de sulco por hectare (m ha⁻¹)	Distância Percorrida pela Máquina (m ha⁻¹)
1,40	Simples colhendo 2 fileiras	7.142	3.571
1,50	Simples colhendo 2 fileiras	6.666	3.333

Fonte: Belardo (2012).

Cox (2006) menciona que um dos grandes desafios para o setor canavieiro como um todo, considerando os principais países produtores da cultura, é a compatibilização de um espaçamento-padrão em cana-de-açúcar, tendo em vista, principalmente, a padronização de máquinas aptas à colheita. O autor apresenta diferentes espaçamentos utilizados em cana-de-açúcar (Tabela 5), destacando os respectivos percentuais de passadas dos equipamentos sobre a área. Como se observa, quanto maior a bitola da colhedora e dos demais equipamentos, menor será a porcentagem de área no solo trafegada por equipamentos pesados, e conseqüentemente, menor será a área compactada.

Tabela 5. Compactação do solo frente a diferentes espaçamentos de cana-de-açúcar.

Bitola (m)	Espaçamento entre Fileiras (m)	Compactação do Solo (%)
1,85	1,50	70%
1,85	1,40	70%
1,85	1,85	70%
1,85	0,50 / 1,35 ED*	35%
2,00	0,80 / 1,20 ED*	35%
2,40	1,20	24%
2,40	0,90 / 1,50 ED*	24%
3,00	1,50	18%

*ED = Espaçamento duplo

Fonte: Cox, 2006.

É importante ressaltar que o autor preconiza que os melhores resultados, em termos de melhorias na redução da compactação, aumento da capacidade de colheita, centro de gravidade da máquina e consumo de combustível, são encontrados com a utilização de bitolas de 3,00 m e espaçamento entre fileiras de 1,50 m e que essa técnica já vem sendo aplicado na Austrália com máquinas para colheita de duas fileiras fabricadas pela Cameco na década de 80 (Figura 9). Com as novas opções de colhedoras em escala comercial no Brasil, passa a ser possível a adoção de colheita de duas fileiras de espaçamento de 1,50 m, e adotar a prática de “canteirização” de 3,00 m, conforme recomenda o autor. Podemos considerar essa nova denominação

de “canteirização” como sendo a largura da faixa de tráfego (LFT) que Mialhe (1996) menciona em seus trabalhos.

Vale ressaltar que existem outros fatores que devem ser considerados antes da definição e adoção de quaisquer espaçamentos de plantio, como por exemplo, a utilização de diferentes bitolas de colhedoras e demais equipamentos para prática da “canteirização”.



Figura 9. Disposição de equipamentos (bitola de 3,0 m) na colheita mecanizada de duas fileiras em espaçamento simples (1,50 m): a) Vista frontal; b) Vista traseira.

Fonte: Cox, 2006.

Deve-se avaliar o uso dos demais equipamentos, desde o preparo do solo até a colheita, pois é preciso que todas as máquinas tenham a mesma largura ou larguras múltiplas de bitola. Este é um componente fundamental para que se tenha sucesso com a adoção do controle de tráfego (LAGUË et al., 2003), podendo assim compactar a área sempre no mesmo local formando o conceito de “canteiro” ou LFT.

Dessa forma, a aplicação de canteiros nos espaçamentos duplos alternados implica em uma mudança drástica em todas as bitolas e equipamentos da usina (tratores, transbordos, plantadoras, etc.) para que todos possam ser adequados à bitola de 2,40 m. Na adoção de colheita de duas fileiras em canaviais plantados com espaçamento de 1,50 m, praticamente todas as máquinas já estão configuradas com bitola múltiplas de 1,50 m, tais como: transbordos (que normalmente já são fabricados

em bitolas de 3,00 m) e tratores (nesse caso a maioria dos fabricantes disponibiliza tratores com bitolas de 3,00 m ou prolongadores para adaptação dos tratores existentes), facilitando a adoção e implementação da “canteirização” ou LFT, sendo que neste caso, as colhedoras de uma fileira ainda podem ser utilizadas, não necessitando da troca de todos os equipamentos de uma única vez para atender ao espaçamento específico definido.

5. Referências:

BAIO, F.H.R.; MORATELLI, R.F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.367-375, mar. /abr. 2011

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; ZAGO, C. A. Estudo dos custos com reparo e manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar II. **Revista Agrimotor**. n. 31, p. 12-13. abr. 2008.

BELARDO G. C.; ROSA J. H. M. MAGALHÃES P. S. G. Evolução da colheita mecanizada na cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

BELARDO, G. C. Soluções para a colheita mecanizada de cana-de-açúcar. In: **SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 14.**, 2012, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2012. <http://www.ideaonline.com.br/materiais/>

BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo em três colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima. 2010.** 111f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BENEDINI, M.S., CONDE, A.J. Espaçamento ideal de plantio para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Coplana**. p. 26-28, out.2008.

BERNARDES, M.S; BELARDO G. C. Espaçamento de plantio para a cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

BRAUNBECK, O.A.; MAGALHÃES, P.S.G.; GARCIA, M.O. Colheita e recuperação da Biomassa. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.S.; GOMEZ, E.O. (Eds.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. p. 63-90.

BRAUNACK, M.V.; ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. **Soil Tillage Res.**, v.89, p.103-121, 2006.

CASE IH. Colhedoras de cana – Série A8800 MR. **Folheto Digital**. Disponível em: <http://www.caseih.com/brazil/Products/Colhedoras-e-Colheitadeiras/A8000-e-A8800/Documents/Folheto_A8800MR.pdf>. Acesso em 05 jan. 2016.

COELHO, J. L. Tendências e Desafios da colheita mecanizada de cana de açúcar. In: **SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 14.**, 2012, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2012.

CONAB (**COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**) em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em 10 jul. 2016.

CONAB (**COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**). Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 23 out. 2008.

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.

FURLANI NETO, V.L. Proposta de espaçamentos para mecanização em solos de baixa fertilidade - Ambientes C, D, e E. In: **SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 11.**, 2009, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2009.

FURLANI NETO, V.L. Sulcos alternados duplos (SAD) e simples: controle de tráfego na colheita de cana picada. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, n. 4, p. 14-16, mar./abr. 1995.

GESP - Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 2007. **Protocolo Agroambiental**. São Paulo 2007.

GOBESSO, M. A. Soluções Santal para colheita mecanizada. In: **SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 9.**, 2007, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2007.

JOHN DEERE. Colhedora de cana John Deere 3522: **Manual do operador. 6. ed.** Edição Sul Americana: Deere & Company, 2012. 238 p.

LAGUË, C., AGNEW, J., KHELIFI, M., 2003. **Theoretical Evaluation on the Feasibility of Controlled-Traffic Farming (CTF) Using Wide-Span Implement Carriers (WSIC) for Canadian Agriculture**, in: CSAE/SCGR 2003 Meeting. The Canadian society for engineering in agricultural, food and biological systems., Montreal, pp. 1–32

MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Avaliação tecnológica da mecanização da cana-de-açúcar. In: **BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR: P&D para Produtividade e Sustentabilidade**. p. 14. 2010.

MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O. A. Colheita de cana-de-açúcar - atualidades e perspectivas. In: BALBUENA R H; BENEZ, S. H.; JORAJURÍA, D. **Ingeniería Rural y Mecanización Agrária en el ámbito Latinoamericano**. La Plata: Editora de la Universidad Nacional de La Plata, 1998. v.1, p.262-73.

MIALHE, L. G. Tráfego no canavial e suas consequências. In: RIPOLI T.C.C. e RIPOLI M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: Colheita, Energia e Ambiente**. Piracicaba, 2004 302p.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificações**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB; FEALQ, 1996. p. 600 - 650.

MORATELLI, R.F.; BAIO, F.H.R. **Contraste de custos das operações mecanizadas na Cana-de-Açúcar por um sistema de autodirecionamento via satélite versus um sistema tradicional de demarcação**. Chapadão do Sul, 2009.

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

NEVES M. F.; KALAKI R. B. A dimensão do setor sucroenergético – Mapeamento e quantificação na safra 2013/2014. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p

NEVES, J. L. M. Avaliação da colheita mecanizada – Determinação de impurezas minerais e vegetais. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

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**, v.24, p.764-770, 2004.

NUNES JUNIOR, D.; PINTO, R.S.A.; KIL, R.A. **Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira: safra 2003-2004**. Ribeirão Preto: IDEA, 2005. 195 p.

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. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

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, T.C.C.; NERY, M.S.; LEÓN, M.J. De; PIEDADE, S.M.S. Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua em função da velocidade de avanço. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 199-207, dez. 1999.

RIPOLI, T.C.C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação.** Piracicaba: FEALQ 1996. p. 635-674.

ROSA, J.H.M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em espaçamento duplo alternado.** 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

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

TONETTE, R. L.; BELARDO, G. C.; MILAN, M. Dimensionamento da demanda de colhedoras de cana-de-açúcar para o Brasil. In: **XVII Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP - SIICUSP**, 2009, Pirassununga. XVII Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP -SIICUSP. Pirassununga: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - FMVZ- USP, 2009

TULLBERG, J.N.; YULE, D.F.; McGARRY, D. Controlled traffic farming - From research to adoption in Australia. **Soil Tillage Res.**, v.97, p. 272-281, 2007

VOLPATO, C.E.S.; BRAUNBECK, O.A.; OLIVEIRA, C.A.A. de. Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de cortador de base para colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.345-348, 2002.

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA UTILIZADA NOS ENSAIOS

1. Experimento 1

O experimento foi realizado em abril de 2015, na Usina Potirendaba (Grupo Noble), localizada no município de Potirendaba, estado de São Paulo, sendo colhida a variedade RB 966928, de terceiro corte, no espaçamento duplo alternado de 0,90 m x 1,50 m. O tipo de solo era PVA – Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico e textura arenosa média, localizado no Sítio Córrego do Cedro nas coordenadas 21° 02' 49.56" e 49° 24' 51.96" (Figura 10).



Figura 10. Sítio Córrego do Cedro – área de realização do ensaio.

Na Figura 11 podemos observar a diferença entre as duas configurações das máquinas da fabricante Case IH, sem rolos (a) e com rolos (b). A máquina da John Deere por sua vez estava com a configuração convencional do fabricante e ambas as colhedoras trabalharam com a mesma rotação do extrato primário a 1.000 RPM.

Os tratamentos foram denominados: CASE 1, CASE 2 e JOHN DEERE sendo que as diferenças entre eles estavam relacionadas às características e configurações das máquinas conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6. Descrição dos tratamentos experimento 1.

Parâmetro	CASE 1	CASE 2	JOHN DEERE
Modelo	8800 Multi Row	8800 Multi Row	3522
Característica	<i>Autofloating Smart Cruise</i> Sem rolos	<i>Autofloating Smart Cruise</i> + Rolos verticais	CICB (Controle integrado do corte de base) <i>Field Cruiser</i> Sem rolos
Espaçamento (m)	0,90 x 1,50	0,90 x 1,50	0,90 x 1,50
Número de fileiras	2	2	2



a)



b)

Figura 11. Mecanismo de alimentação das colhedoras Case: a) Sem rolos verticais; b) Com rolos verticais.

O porte do canavial foi determinado como parcialmente acamado (75% ereto e 25% acamado) com produtividade agrícola estimada, pela usina, de 100 t ha⁻¹ e a colheita ocorreu sem queima prévia.

O micro relevo do terreno encontrava-se em condições bastante adequadas para operação de colheita mecânica. Por sua vez, o paralelismo entre fileiras de plantio estava dentro do limite desejável e o uso de sistema de piloto automático com RTK minimizou a influência do operador durante a colheita.

2. Experimento 2

O experimento foi realizado em julho de 2015, na Usina Clealco, localizada no município de Clementina, estado de São Paulo, sendo colhida a variedade CTC 4, de primeiro corte, no espaçamento duplo alternado de 0,9 m x 1,5 m. O tipo de solo era PA – Argissolo Amarelo distrófico e textura arenosa média, localizado nas coordenadas 21 ° 56' 48.95" S e 50 ° 43' 21.73" W (Figura 12).



Figura 12. Usina Clealco – área de realização do ensaio.

Para esse ensaio foram utilizadas duas colhedoras (marca Case IH A8800 *Multirow* e John Deere 3522) sendo que a diferença entre os tratamentos foi com relação ao porte do canavial, sendo “D” a denominação para canavial deitado e “E” a denominação para canavial ereto (Tabela 7). Os tratamentos foram então denominados como: CASE D, JOHN DEERE D, CASE E e JOHN DEERE E.

Tabela 7. Descrição dos tratamentos experimento 2.

Parâmetro	CASE D	JOHN DEERE D	CASE E	JOHN DEERE E
Modelo	A8800 Multi Row	3522	A8800 Multi Row	3522
Característica	<i>Autofloating Smart Cruise</i> + rolos verticais	CICB (Controle integrado do corte de base) <i>Field Cruiser</i> sem rolos	<i>Autofloating Smart Cruise</i> + rolos verticais	CICB (Controle integrado do corte de base) <i>Field Cruiser</i> sem rolos
Porte Canavial	Deitado	Deitado	Ereto	Ereto
Espaçamento	0,90 x 1,50	0,90 x 1,50	0,90 x 1,50	0,90 x 1,50
Núm. de fileiras	2	2	2	2

O porte do canavial foi determinado como ereto na área 1 e deitado na área 2. A produtividade agrícola estimada, pela usina, foi de 100 t ha⁻¹ na área 1 e 120 t ha⁻¹ para a área 2 e a colheita ocorreu sem queima prévia em ambas as áreas (Figura 13).



Figura 13. Diferença entre os tratamentos / porte do canavial: a) Ereto; b) Deitado

O micro relevo do terreno encontrava-se em condições medianas para operação de colheita mecânica, por ser uma colheita de primeiro corte e em algumas situações existiam imperfeições nas entrelinhas do canavial. O paralelismo entre fileiras de plantio, por sua vez, estava dentro do limite desejável uma vez que o plantio

foi realizado com o uso de piloto automático com correção de sinal RTK. Nesse ensaio tivemos a ocorrência de chuvas em excesso nesse período o que pode ter impactado em alguns resultados correlacionados à qualidade da matéria-prima colhida para todos os tratamentos.

Ambas as colhedoras trabalharam com a mesma rotação do extrator primário à 1.000 RPM.

3. Experimento 3

O experimento foi realizado em maio de 2015, na Usina Porto das Águas (Grupo Cerradinho Bio), localizada no município de Chapadão do Céu, estado de Goiás, sendo colhida a variedade RB 966928, de primeiro corte, no espaçamento simples de 1,50 m, colhendo duas fileiras e no espaçamento “triplo alternado” (1,50 m x 0,75 m x 0,75 m x 1,50m) colhendo três fileiras simultaneamente. O tipo de solo era Latossolo Vermelho, mesotrófico. (Ambiente B), localizado na Fazenda Alto Formoso nas coordenadas 18° 18' 32.1" S e 52° 44' 09.1" W (Figura 14).



Figura 14. Fazenda Alto Formoso – área de realização do ensaio.

A diferença entre os tratamentos foi com relação ao uso de facas recolhedoras (FR) no corte de base convencional ou facas de corte (entre os tratamentos CASE 1 MR (FR) E CASE 2 MR (FC) que colheram duas fileiras) e entre a quantidade de linhas colhidas e a diferença de espaçamento entre CASE 3 MR (FC) e os demais tratamentos (Figura 15). A denominação FR refere-se às facas recolhedoras e FC a facas de corte, sendo que as facas recolhedoras têm inclinação de aproximadamente 45° (Figura 15 – item b) e não possuem fio de corte, enquanto que as facas de corte são as comumente encontradas no mercado e utilizadas nas colhedoras em campo (Figura 15 – item a).

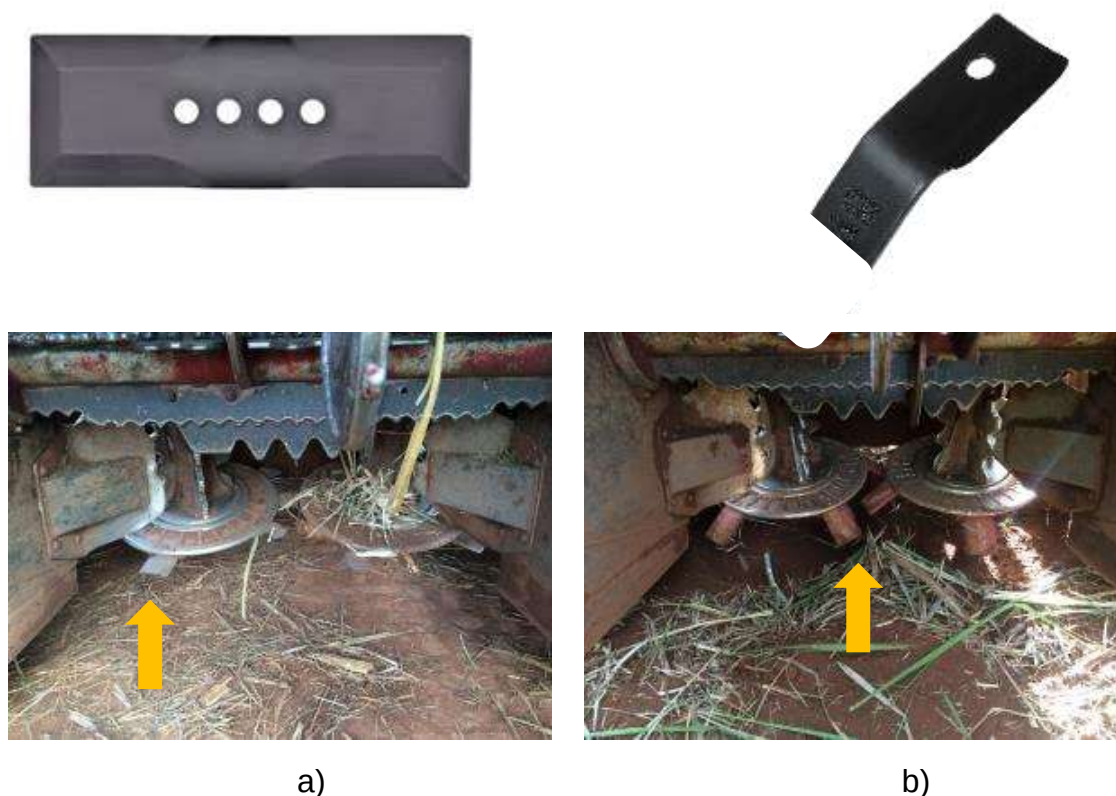


Figura 15. Corte de base de central: a) Facas cortadoras; b) Facas recolhedoras.

Os tratamentos foram então denominados: CASE 1 MR (FR), CASE 2 MR (FC) e CASE 3 MR (FC), conforme Tabela 8.

Tabela 8. Descrição dos tratamentos experimento 3.

Parâmetro	CASE 1 MR (FR)	CASE 2 MR (FC)	CASE 3 MR (FC)
Modelo	<i>A 8800 Multi Row</i>	<i>A 8800 Multi Row</i>	<i>A 8800 Multi Row</i>
Característica	<i>Autofloating Smart Cruise Rolos verticais Faca recolhadora</i>	<i>Autofloating Smart Cruise Rolos verticais Faca de corte</i>	<i>Autofloating Smart Cruise Rolos verticais Faca de corte</i>
Espaçamento (m)	1,50 x 1,50	1,50 x 1,50	0,75 x 0,75 x 1,50
Número de fileiras	2	2	3

O porte do canavial foi determinado como acamado com produtividade agrícola estimada, pela usina, de 125 t ha⁻¹. A colheita ocorreu sem queima prévia. O micro relevo do terreno encontrava-se em condições ideais e adequadas para operação de colheita mecânica apesar de se tratar de primeiro corte. Por sua vez, o paralelismo entre fileiras de plantio estava dentro do limite desejável uma vez que o plantio mecanizado foi realizado com o uso de piloto automático com correção de sinal RTK.

Todas as máquinas colheram com a mesma rotação do extrator primário à 1.000 RPM.

A. Material

Para realização dos três experimentos foram utilizados os seguintes materiais.

1. Equipamentos e Instrumentos de campo.

- 01 transbordo marca TMA com célula de carga tracionado por trator.
- Célula de carga marca Kyowa, capacidade máxima de leitura de 2.000 kgf e fundo de escala de 0,1 kgf.
- Fluxômetro marca Oval, modelo LSF41 com capacidade máxima de leitura 100 L.h⁻¹, fundo de escala de 1 mL por pulso.
- Sistema de aquisição de dados, modelo CR10X, marca Campbell de 10 canais.

- Cronômetro digital, marca Casio, capacidade de leitura de 0,1 s.
- 04 unidades para sub-amostragens (tambores metálicos com correntes).
- Tripé de ferro para suporte da célula de carga.
- Trenas flexíveis, compasso de madeira de abertura máxima de 2,0 m.
- Facões, cordas, estacas, lonas plásticas e sacos plásticos de diversos tipos e tamanhos, ganchos de ferro, cordas, fita crepe, latas de alumínio com tampas, facões, estacas de madeira, correntes de ferro, encerados de plástico.
- Triângulo metálico para caracterização do porte do canavial (RIPOLI, 1996).

2. Instrumentos de laboratório.

2.1. Usina:

- Triturador.
- Balanças de precisão.
- Mufla.
- Cadinhos.

2.2. UNESP / Jaboticabal:

- Microcomputadores com programas de planilha eletrônica; específico para conversão de dados do CR10 e Estatístico SAS.
- Medidor do teor de água do solo por Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR).

B. Métodos

3. Critérios de amostragens.

As determinações de campo foram baseadas na metodologia proposta por Ripoli e Ripoli (2009), de modo que as avaliações foram conduzidas no sentido de verificar a capacidade de colheita (a), a qualidade da operação – perdas, matéria estranha mineral e vegetal e qualidade de corte (b) e o consumo de combustível (c) pelas máquinas nos respectivos ensaios padronizados.

Todos os tratamentos receberam cinco repetições para que a análise estatística pudesse ser representativa. Cada deslocamento de 180 m foi considerado como uma repetição dentro dos tratamentos. Vale salientar que no caso dos tratamentos realizados em canavial deitado o sentido de colheita das repetições foi alternado, uma vez que o sentido no qual o canavial está deitado (comumente conhecido como cana de “arrepio”) tem influência direta na velocidade de deslocamento e, consequentemente, na capacidade efetiva de colheita das máquinas.

A determinação da velocidade ideal de colheita foi realizada por meio da análise preliminar da máxima velocidade em que as colhedoras conseguiam colher de forma satisfatória, respeitando-se o limite máximo de colheita de $6,0 \text{ km h}^{-1}$. Essa análise preliminar de velocidade ideal de colheita sempre foi realizada no mesmo “talhão” ou área onde o ensaio seria realizado para minimizar o efeito da variabilidade de produtividade, e consequentemente, de capacidade de colheita das máquinas durante os levantamentos.

Foram contempladas 50 repetições sendo que no Experimento 1 foram realizadas 15 repetições (3 tratamentos), no Experimento 2 foram realizadas 20 repetições (4 tratamentos) e no Experimento 3 foram realizadas 15 repetições (3 tratamentos).

4. Caracterização da área.

4.1. Determinação da área amostral.

A área correspondente às repetições foi obtida com fileiras de 180 m de comprimento de colheita, depois de eliminadas as bordaduras de 15 m, ou seja, essa área estava suficientemente afastada dos carregadores, a fim de se buscar menor variabilidade espacial de produtividade entre as fileiras de plantio relacionadas à ação de compactação devido ao tráfego de máquinas.

4.2. Porte do canavial.

O porte do canavial diz respeito à posição relativa e à quantidade em que os colmos se apresentam em relação ao terreno (erectos, acamados ou deitados). Para o presente trabalho foi utilizado o método proposto por Ripoli (1996) no qual se utiliza uma estrutura triangular para avaliação.

Na avaliação do canavial onde foram realizados os ensaios, foram tomadas 12 áreas ao acaso nas quais se posicionou o gabarito com formato de triângulo retângulo para determinação do porte do canavial.

4.3. Teor de água no solo.

Para as determinações do teor de água no solo foram realizadas, ao acaso, 10 amostragens para cada tratamento por meio da técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) (Figura 16), por meio da relação entre o teor de água e a capacidade dielétrica de um solo mineral, conforme equação empírica (1) descrita por Topp et al. (1980).

$$\theta = -5,3 \cdot 10^{-2} + 2,92 \cdot 10^{-2} \cdot \varepsilon_b - 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot \varepsilon_b^2 + 4,3 \cdot 10^{-6} \cdot \varepsilon_b^3 \quad (1.)$$

Em que:

θ = teor de água do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

ε_b = constante dielétrica (adimensional)



Figura 16. Determinação do teor de água do solo utilizando Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR).

A sonda TDR foi instalada na camada de 0 a 20 cm, o mais próximo possível da fileira de plantio e logo após a passagem da máquina. O teor de água considerado para cada repetição foi a média ponderada das dez determinações de campo.

5. Determinação da velocidade operacional.

A velocidade de deslocamento está diretamente relacionada ao desempenho operacional de colhedoras. Após uma análise preliminar no talhão do ensaio buscava-se atingir a velocidade pré-determinada durante a colheita de cada repetição de modo a evitar o excesso de velocidade e consequentemente “embuchamentos” das colhedoras, atingindo assim, a melhor velocidade de colheita para cada repetição.

Para a mensuração real da velocidade de colheita em cada repetição, além do uso do GPS das máquinas registrou-se o tempo decorrido de colheita por meio de cronometragem. Posteriormente à passagem da colhedora foi medida a distância exata de cada fileira colhida com o auxílio de um gabarito de 2,0 m para aferição da

distância percorrida pela máquina. Para esta variável, não foram efetuadas amostragens, mas obtidos os valores efetivamente levantados em cada repetição.

6. Determinação da quantidade de matéria-prima colhida para cada repetição.

Durante a colheita de cada repetição, o transbordo instrumentado com células de carga (Figura 17 - item a), registrou o valor proveniente da pesagem do material colhido, sendo possível determinar, portanto, a produtividade do canavial, bem como a capacidade de colheita pela máquina por meio da relação entre a massa do material colhido e a área (Figura 17 – item b).



a)



b)

Figura 17. Capacidade de colheita: a) transbordo instrumentado com célula de carga (em destaque); b) colhedora posicionada para início da repetição.

Vale lembrar que para a mensuração da produtividade agrícola, além da quantidade de cana-de-açúcar pesada no veículo transbordo, sempre é somada a quantidade de perdas, ou seja, a quantidade total de colmos disponível na área.

7. Determinação de perdas visíveis de matéria-prima no campo.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), as perdas visíveis representam a massa de matéria vegetal, cujo conteúdo em açúcar a qualifica como "matéria-prima

industrializável", que fica no campo após a passagem da máquina. Estas perdas de matéria-prima podem ser determinadas por dois métodos: direto e analítico. Para os experimentos utilizou-se o método direto, ou seja, por meio da coleta, classificação e pesagem da matéria-prima remanescente no campo após a passagem da colhedora.

Para amostragens de perdas visíveis de matéria-prima, como o espaçamento de plantio dos capítulos 1 e 2 foi diferente do capítulo 3, foi necessário que as áreas amostrais fossem de tamanhos diferentes. Para a amostragem de perdas, a área deve sempre ter largura múltipla do espaçamento de plantio. Sendo assim, no espaçamento duplo alternado (0,90 m x 1,50m) demarcou-se três sub-amostras de 10 m x 4,80 m (múltiplo do espaçamento duplo alternado de 2,40 m), ou seja, 48 m² por sub amostra, deixando-as livres de material remanescente da ação anterior da colhedora (Figura 18 – item a). Somando-se as três sub amostras foi coletado uma área de 144 m² por repetição. Para o espaçamento simples de 1,50 m e o triplo alternado a área amostral foi de 10 m x 4,50 m (múltiplo do espaçamento de 1,50 m), ou seja, 45 m² por sub amostra e somando-se as três áreas, totalizou 135 m² por repetição (BELARDO et al. 2015).

Após a passagem da colhedora, o material remanescente além dos restos de colmos das soqueiras da área amostral (três sub-amostras) foi recolhido, ensacado (Figura 18 – item b) e pesado (Figura 18 – item d) separadamente por tipo de perda (Figura 18 – item c), sendo determinada por meio da seguinte classificação: i) Rebolos inteiros – comumente chamado de “toletes”: Frações de colmo integral com tamanho definido pelo picador da máquina, nesse caso, entre 15 a 20 cm; ii) Frações de rebolo – comumente denominados de estilhaços: frações de cana menor que um rebolo, nesse caso, pedaços menores que 15 cm; iii) Colmos e/ou suas frações – comumente denominados de cana inteira: Frações de cana maior que um rebolo, nesse caso, pedaços maiores que 20 cm; iv) Tocos na soqueira: Frações de colmos remanescentes na soqueira após passagem da máquina. A somatória de todas essas frações resulta no parâmetro perdas visíveis totais. Com essas determinações por área permite chegar as perdas ocorridas em um hectare.

Cabe ressaltar, que para a quantificação das perdas, foi descontado em todas as repetições, o valor referente à tara dos sacos utilizados para recolher e pesar as amostras de perdas. Além da expressão das perdas em toneladas por hectare, os

indicadores de perdas são geralmente apresentados em termos percentuais, bastando relacionar os valores obtidos em peso com a produtividade agrícola da área.



a)



b)



c)



d)

Figura 18. Quantificação de perdas na colheita: a) área demarcada e limpa para recolhimento de perdas antes da passagem da colhedora; b) recolhimento e separação das perdas após a passagem da colhedora; c) tipos de perdas; d) pesagem por tipo de perda.

8. Determinação de qualidade de matéria-prima colhida e quantidade de rebolos colhidos.

Para a amostragem e avaliação da qualidade de matéria-prima colhida foram colocados dois tambores metálicos (meio tambor de 200 L) dentro do conjunto

transbordo que acompanhava a colhedora durante cada repetição servindo de sub amostras de material colhido para análise tecnológica (Figura 19 - item a).

Após cada repetição, juntamente com o material colhido e contido no transbordo, foram retirados os dois tambores (Figura 19 - item b) que, aleatoriamente, receberam a matéria-prima. O material contido dentro dos tambores (de cada repetição) foram ensacados e pesados (Figura 19 – item c) e encaminhados ao laboratório de análises tecnológicas da Usina. No laboratório, efetuaram-se as determinações de percentagem de rebolos, de matéria estranha mineral e vegetal separadamente em: ponteiros, folhas e palhas. (Figura 19 – item d).



a)



b)



c)



d)

Figura 19. Determinação de matéria estranha: a) tambores de sub-amostras de qualidade de matéria-prima; b) retirada das amostras; c) amostras separadas para envio à Usina; d) separação e análise da qualidade de matéria-prima na Usina.

9. Determinação de frequência, índice de cisalhamento e comprimento de rebolos (Avaliação da qualidade do picador).

De um dos tambores colocado dentro do transbordo, aleatoriamente, tomou-se 50 rebolos, nos quais foram medidos seus comprimentos, para obtenção da frequência de tamanho, bem como se procedeu à análise da qualidade do cisalhamento dos mesmos (perfeito em ambas as extremidades, perfeito em uma extremidade e imperfeito em ambas as extremidades), uma análise que visa avaliar a qualidade do corte do rolo picador (Figura 20 – item a e Figura 20 – item b).



a)



b)

Figura 20. Determinação de índice de cisalhamento e frequência no tamanho de rebolos. Avaliação da qualidade do picador: a) medição de comprimento de rebolos; b) critério para qualidade de cisalhamento de rebo (na ordem: dois lados perfeitos, um lado cisalhado, dois lados cisalhados).

10. Determinação da qualidade do corte de base.

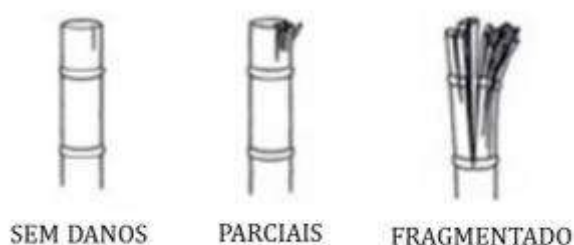
A qualidade do corte de base é de extrema importância para a longevidade do canavial e a produtividade da cana soca nos anos subsequentes à colheita mecanizada, sendo assim, recentemente pesquisadores vêm buscando avaliar essa variável.

Para cada repetição, após a passagem da colhedora, foram realizadas dez amostragens das seguintes determinações, usando uma área amostral de 0,50 m por

1,00 m (Figura 21 – item a) para a análise da qualidade do corte de base: i) altura de corte, que é a medida do solo até o local onde ocorreu o corte do colmo; ii) danos as soqueiras, a partir da análise visual da soqueira, seguindo a metodologia adaptada de Kroes (1997) e Mello e Harris (2003) e que propõe três classificações (Figura 21 – item b) de avarias à soca, sendo sem danos (SD), danos parciais (DP) e fragmentada (FR) e; iii) o abalo de soqueira, que trata-se de uma análise sensitiva por um técnico treinado, da situação da soqueira em termos de fixação ao solo, sendo o abalo classificado em fraco, médio e forte (CASSIA e SILVA, 2015).



a)



b)

Figura 21. a) Área amostral para determinação de altura de corte, danos e abalos à soqueira; b) critérios para avaliação de danos à soqueira Kroes (1997);

11. Capacidade de colheita.

Desempenho Operacional de colhedoras e, em particular, de colhedoras de cana-de-açúcar, segundo, ASAE (1983); Belardo et al. (2015); Ripoli e Ripoli (1999); Rosa (2013); Witney (1988), que tratam do assunto, é entendido como o conjunto de atributos que caracterizam o grau de habilitação da máquina para execução da operação de colheita, sob determinadas condições operacionais.

Capacidade de colheita tem sido entendida como a quantidade de trabalho que um conjunto de máquinas (ou sistema mecanizado) ou uma colhedora isoladamente, é capaz de executar por unidade de tempo. Segundo Ripoli e Ripoli (2009), o aspecto capacidade de máquinas colhedoras de cana-de-açúcar, fica convenientemente caracterizado por meio dos seguintes parâmetros:

- a. Capacidade Teórica
- b. Capacidades Efetivas: Líquida (ou Calculada) e Bruta
- c. Capacidade Operacional

Para o presente estudo foram consideradas somente as capacidades de campo efetivas, pois o trabalho busca avaliar a interação entre máquina e campo e não analisar demais variáveis que influenciam nas capacidades operacionais.

12. Capacidade Efetiva – CE.

Ripoli (1996) considera como capacidade efetiva, a relação entre uma área (ou uma produção) obtida e o tempo efetivo decorrido na execução de determinada operação mecanizada. O tempo efetivo não leva em conta os tempos consumidos em: manobras de cabeceiras, interrupções para reabastecimento e manutenção, para regulagens, desembuchamentos e, ainda, descanso e refeições de operadores. Revela a máxima quantidade de trabalho que uma máquina é capaz de desenvolver, sob uma dada condição da cultura, num certo intervalo de tempo contínuo, durante o qual seus órgãos ativos receberam um fluxo relativamente uniforme de produto.

A velocidade efetiva de deslocamento (V_e) é a máxima velocidade que as máquinas conseguem desenvolver numa dada condição de campo. Sua magnitude é determinada por duas categorias de fatores:

- Fatores da máquina (capacidade dos órgãos ativos, capacidade teórica); características de torque e potência do motor; características das transmissões; aptidão do rodado para desenvolver tração (para autopropulsão) e da suspensão para trafegabilidade; posição do centro de gravidade, distância entre eixos e bitola, garantindo condição de estabilidade.
- Fatores de campo (condições de trafegabilidade do terreno, em relação ao micro relevo superficial e obstáculos, ou seja, quanto melhor a sistematização do talhão, melhores serão as condições para a máquina desempenhar sua atividade); características de relevo, em relação à declividade das rampas; condições de solo,

em termos de resistência do recalque e cisalhamento; condições da cultura, em termos de resistência oferecida ao avanço da máquina.

13. Capacidade Efetiva Líquida ou Calculada¹ - CEI.

Segundo Ripoli (1996), a Capacidade Efetiva Líquida ou Calculada pode ser obtida por cálculos tendo como base o parâmetro qualitativo denominado Eficácia de Manipulação, pode ser calculada pela seguinte equação:

$$CE_l (kg.s^{-1}) = \frac{D_f (kg.m^{-1}).N_e.V_{ens} (m.s^{-1}).EM(\%)}{100} \quad (2.)$$

$$CE_l (t.h^{-1}) = CE_l (kg.s^{-1}).3,6 \quad (3.)$$

Sendo:

D_f = massa média de colmos na fileira por metro ($kg\ m^{-1}$);

N_e = número de fileiras por eito colhido pela máquina;

V_{ens} = velocidade da máquina, na parcela padrão, durante o ensaio ($m\ s^{-1}$);

EM = Eficácia de Manipulação (% de matéria-prima industrializável, disponível na parcela padrão, que a colhedora foi capaz de recolher e processar, durante o ensaio).

14. Capacidade Efetiva Bruta² - CEB.

Segundo Ripoli (1996), a Capacidade Efetiva Bruta ocorre quando se considera diretamente a quantidade de material liberado no veículo de transporte, sem levar em

¹ Capacidade Efetiva líquida = trata-se de parâmetro similar ao que Witney (1988) designa como *commodity throughput capacity*.

² Capacidade Efetiva bruta = equivalente ao que Witney (1988) designa como *spot rate of work*.

conta as perdas no campo e a matéria estranha contida na carga recolhida, e pode ser calculada por meio de da equação:

$$CE_b(kg.s^{-1}) = \frac{W_e(kg)}{T_e(s)} \quad (4.)$$

$$CE_b(t.h^{-1}) = CE_l(kg.s^{-1}).3,6 \quad (5.)$$

Sendo:

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

T_e = tempo cronometrado de ensaio, durante o qual recolheu-se a massa W_e (s).

15. Eficácia de Manipulação.

Segundo Ripoli (1996), a Eficácia de Manipulação de colhedoras de cana (EM) vem a ser a relação entre a quantidade (T_c) de rebolos de colmos colocados na unidade de transporte e a quantidade (TC) de colmos existentes na fileira de plantio, *in natura*, ou seja:

$$EM_t(\%) = \left(\frac{T_c}{TC} \right).100 \quad (6.)$$

Para colhedoras de cana, a quantidade de colmos industrializáveis (na forma de rebolos) depositada no veículo de transporte (T_c) é função, também das perdas ocorridas (P_c), de maneira que:

$$T_c = TC - P_c \quad (7.)$$

Substituindo-se nas equações (7.) em (6.) e efetuando-se as simplificações, obtém-se:

$$EM(\%) = \left(1 - \frac{P_c}{TC}\right) \cdot 100 \quad (8.)$$

16. Índices de matéria estranha na matéria-prima.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), esse índice é representado pelo teor de matéria estranha que acompanha a matéria-prima industrializável recolhida no veículo de transporte ou de transbordo.

Em ensaios de colhedoras de cana, frequentemente denominam o parâmetro denominado Índice de Matéria Estranha de Índice de *Impurezas*³, e que pode ser subdividido em:

IM = Índice de matéria estranha mineral;

IV = Índice de matéria estranha vegetal (somatória dos índices de ponteiros, índice de folhas e palhas e índice de raízes);

IT = Índice de matéria estranha total (somatória das anteriores).

O índice de matéria estranha vegetal é subdividido em:

- **Índice de Ponteiros - IP (%)**

O Índice de Ponteiros – IP (%) é uma razão entre a soma da quantidade (kgf) de ponteiros livres na carga (PL) e a quantidade de ponteiros (ou suas frações) aderidos aos rebolos ou colmos (PA) e a quantidade C (kgf) correspondente a matéria-prima, na unidade de transporte. Essa matéria-prima C é constituída de colmos (inteiros,

³ O termo “impurezas” está mais relacionado com aspectos tecnológicos da matéria-prima, tais como, a presença de cinzas e outros compostos químicos do caldo processado na indústria. Diz respeito à “pureza”, conforme Stupiello et al. (1971).

fracionados, rachados ou em rebolos) industrializáveis e de matérias estranhas diversas calculadas por:

$$IP (\%) = \left(\frac{PL+PA}{C} \right) \cdot 100 \quad (9.)$$

- **Índice de Folhas e Palhas – IF (%)**

O Índice de Folhas e Palhas – IF (%) vem a ser a relação entre a quantidade de folhas e palhas (Tf) e a quantidade C (kgf) de matéria-prima na unidade de transporte, ou seja:

$$IF (\%) = \left(\frac{Tf}{C} \right) \cdot 100 \quad (10.)$$

- **Índice de Raízes – IR (%)**

O IR (%) expressa, em percentagem, a massa de raízes – IR (%), contida na carga C. É obtido por:

$$IR (\%) = \left(\frac{R}{C} \right) \cdot 100 \quad (11.)$$

- **Índice de Matéria Estranha Vegetal – IV (%)**

Quantidade total em peso de matéria estranha vegetal que acompanha os colmos ou rebolos industrializáveis, na unidade de transporte, constituídos de ponteiros, palhas, raízes, expressa por:

$$IV (\%) = IP + IF + IR \quad (12.)$$

- **Índice de Matéria Estranha Mineral – IM (%)**

O Índice de Matéria Estranha Mineral é a relação entre a quantidade t (kg) de terra que acompanhou a matéria-prima C (kgf), na unidade de transporte, ou seja:

$$IM(\%) = \left(\frac{t}{C} \right) \cdot 100 \quad (13.)$$

- **Índice de Matéria Estranha Total – IT (%)**

O Índice de Matéria Estranha Total – IT (%), é a soma do Índice de Matéria Estranha Vegetal – IV (%) com o índice de Matéria Estranha Mineral – IM (%), calculado pela equação:

$$IT\% = IV + IM \quad (14.)$$

Representa o total de material que não deveria ter sido carregado e transportado juntamente com os colmos ou rebolos industrializáveis.

17. Consumo de combustível.

O consumo de combustível das colhedoras é um dos principais itens formadores do custo operacional da máquina e, constitui um indicativo da eficiência do processo de conversão de energia do sistema mecanizado utilizado na operação de colheita.

A mensuração do consumo foi realizada utilizando-se fluxômetro marca Oval modelo LSF41 com capacidade máxima de leitura 100 L h^{-1} , fundo de escala de 1 mL por pulso, ligado em um sistema de aquisição de dados para registro eletrônico das informações que permitiu o controle e mensuração, em tempo real. Esse sistema estava instalado no circuito de combustível da máquina (Figura 22 – item a). Como forma de validação, foi registrado ainda, o consumo determinado pelo sensor da própria colhedora e disponível no computador de bordo (Figura 22 – item b).

Para as avaliações de consumo, foram calculados o consumo operacional de combustível ($L\ ha^{-1}$), consumo horário de combustível ($L\ h^{-1}$), consumo na capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($L\ t^{-1}$), consumo na capacidade efetiva bruta de colmos ($L\ t^{-1}$) e consumo na capacidade efetiva líquida de colmos ($L\ t^{-1}$).

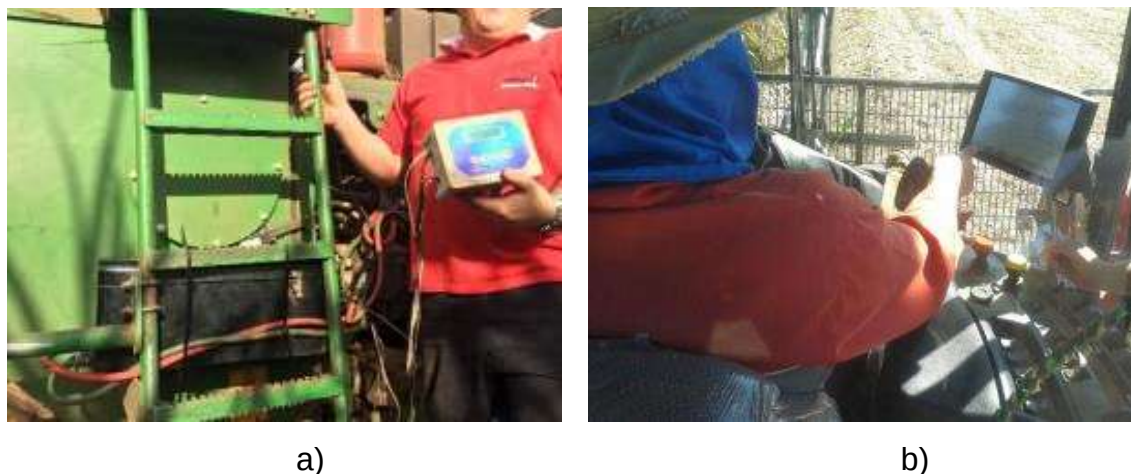


Figura 22. Determinação do consumo de combustível: a) instalação do fluxômetro; b) acompanhamento do consumo pelo computador de bordo.

18. Delineamento estatístico.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado uma vez que a diferença e variabilidade de produtividade entre fileiras é relevante e pode ser considerada como um sorteio para cada repetição. A análise estatística foi efetuada por meio do sistema de análise estatística SAS, aplicando-se o teste F, ao nível de significância de 5% de probabilidade, para verificar se as médias apresentam diferenças significativas. Quando houve diferença entre as médias, aplicou-se o teste Tukey à 5% para as comparações de probabilidade.

19. Controle Estatístico de Processos (CEP).

O auxílio de técnicas estatísticas no controle de qualidade de operações agrícolas já é utilizado em diferentes operações e vem aumentando significativamente

no setor sucroenergético, podendo dessa forma controlar e gerenciar melhor as operações de colheita (MILAN e FERNANDES, 2002).

O Controle Estatístico de Processo (CEP) tem como objetivo detectar rapidamente alterações dos parâmetros de determinados processos para que os problemas possam ser corrigidos antes que muitos itens não-conformes sejam produzidos (MINGOTI e FIDELIS, 2001).

De acordo com Fernandes et al. (2000), sob o ponto de vista econômico, qualidade é a produção de serviços e de produtos a custos compatíveis com a atividade, com a obtenção de lucros para o produtor e que satisfaçam às necessidades dos consumidores. Sob o ponto de vista agrônomo, qualidade é a realização das operações agrícolas ou a obtenção de produtos que estejam adequados às especificações ou a padrões agrônomo recomendados.

Para as variáveis tamanho de rebolo e altura de corte foi utilizado o controle estatístico de processos (CEP).

Inicialmente, os dados foram analisados por meio da estatística descritiva para permitir a visualização geral e o comportamento da variabilidade dos resultados, sendo calculados a média aritmética, a mediana, a amplitude, o desvio-padrão e os coeficientes de variação, de assimetria e de curtose, por meio do programa Minitab 16®.

Essa análise foi realizada por meio do controle estatístico, sendo que as ferramentas utilizadas foram cartas de controle por variáveis (control charts), utilizando como indicadores de qualidade as variáveis anteriormente descritas. O modelo de carta de controle selecionado para análise do estudo foi de cartas de valores individuais, que permite examinar a variação dos dados ao longo do tempo.

Os limites de controle, inferior (LCL) e superior (USL), resultaram da análise estatística e foram determinados de acordo com a variabilidade dos processos, sendo que quando é observado mais de um ponto extremo a esses dois limites, classifica-se os processos como instáveis, ou sem controle, conforme citam Noronha et al., 2011.

Os limites de controle foram estabelecidos considerando a variação dos dados devido a causas não controladas no processo (causas especiais), tendo sido calculados com base no desvio-padrão das variáveis ($média \pm 3\sigma$).

20. Referências.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Yearbook of standards**. St. Joseph, 1983. 835 p. (ASAE-EP, 391).

BELARDO G. C.; ROSA J. H. M. MAGALHÃES P. S. G. Evolução da colheita mecanizada na cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

BELARDO G. C.; RIPOLI T. C. C. Avaliação da colheita mecanizada – Desempenho de colhedoras de cana. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo em três colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Avaliação da colheita mecanizada – Avaliação da qualidade do corte de base**. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

FERNANDES, R.A.T.; MILAN, M.; PECHE FILHO, A. Gerenciamento da qualidade em operações mecanizadas de um sistema de produção de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.3, p.215-20, 2000.

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, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 18-23, nov./dez. 1996.

KROES, S. **The cutting of sugarcane**. 1997. 356 f. PhD Thesis, University of Southern Queensland, Toowoomba, 1997.

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**, V.7, n.2, p.355-358, 2003.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificações**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB; FEALQ, 1996. p. 600 - 650.

MILAN, M.; FERNANDES, R.A.T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.261-6, 2002.

MIGNOTI, S.A.; FIDELIS, M.T. Aplicando a geoestatística no controle estatístico de processo. **Revista Produto & Produção**, Porto Alegre, v.5, n.2, p.55-70, 2001.

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

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, T.C.C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ 1996. p. 635-674.

ROSA, J. H. M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em espaçamento duplo alternado**. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

STUPIELLO, J. P.; NOVAES, F. V.; DELGADO, A. A.; OLIVEIRA, E. R. de; CESAR, M. A. A.; VALSECHI, O. **Elementos de tecnologia de açúcar**: curso de tecnologia dos produtos agropecuários. Piracicaba: ESAQL, 1971. 72p.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L. & ANNAN, A.P. **Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in coaxial transmission lines**. Water Res. Res., 16:547-582,1980.

WITNEY, B. **Choosing and using farm machines**. Harlow: Longman, 1988. 412p

CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO DE TRÊS COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ESPAÇAMENTO DUPLO ALTERNADO

RESUMO: A avaliação de desempenho e qualidade das operações agrícolas mecanizadas é importante e relevante para a tomada de decisões sobre quais equipamentos apresentam melhores resultados sob a óptica operacional e econômica. Por esse motivo, ensaios padronizados de colhedoras de cana-de-açúcar devem e vêm sendo cada vez mais adotados pelas Usinas e empresas fabricantes de máquinas. Com relação aos espaçamentos entre fileiras adotados na cultura de cana-de-açúcar no Brasil, o espaçamento duplo alternado (0,9 m x 1,50 m) vem crescendo e já representa de 20 a 25% da área plantada. Neste sentido, objetivou-se neste trabalho comparar os resultados de um ensaio padronizado com três colhedoras de cana-de-açúcar por meio de avaliação de desempenho operacional. O experimento foi realizado em uma Usina sucroenergética na região do Potirendaba, SP durante a safra 2015/2016. Foram realizados três tratamentos com cinco repetições, sendo eles: Colhedora Case IH A8800 *Multirow* sem rolos alimentadores (tratamento 1), Colhedora Case IH A8800 *Multirow* com rolos alimentadores (tratamento 2), e Colhedora John Deere 3522 (tratamento 3). Os indicadores de desempenho e qualidade avaliados durante a colheita foram: capacidade de campo efetiva: bruta e líquida de matéria-prima; qualidade de matéria-prima colhida: matéria estranha mineral e vegetal; perdas do tipo: rebolo inteiro, tocos, cana inteira, estilhaços, pedaços soltos e totais; qualidade do corte de base: altura, índice de abalo de soqueira e cisalhamento de corte; e qualidade de corte do picador: tamanho, índice de cisalhamento e tamanho de rebolos. O tratamento 2 apresentou melhores resultados de desempenho, obtendo maior eficiência operacional, com índices de perdas e qualidade de matéria-prima semelhante as demais.

PALAVRAS-CHAVE: colheita de cana-de-açúcar, mecanização, máquinas agrícolas, desempenho efetivo, controle de qualidade, perdas.

CHAPTER 3 – SUGAR CANE HARVESTERS PERFORMANCE EVALUATION IN DOUBLE ALTERNATE ROW SPACING

ABSTRACT: The assessment of operational harvesting performance and quality for mechanized farming operations are of utmost importance and relevance for making decisions about which equipment show better results in the operational and economic perspective. Evaluations of sugarcane harvesters performance is being increasingly adopted by sugar cane mills for making purchases decisions and by manufactories companies to improve and develop products. Regarding the spacing adopted in Brazil, the double alternate spacing (0.9 m X 1.50 m) has grown in recent years and account for about 20% to 25% of the current planted area. In this sense, the objective of this study was to compare three Cane Harvesters that enables the harvesting of such spacing through a performance assessment. The trial was conducted in a production unit in the Catanduva - SP region during the 2015 harvest season. There were performed five repetitions for each treatment and treatments were John Deere 3522 machine (Treatment 3) and Case IH A8800 *Multirow* machine with two different configurations available one with feeding rollers (Treatment 2) and another without rollers (Treatment 1). Performance indicators and quality assessed during the harvest sugarcane were: effective harvesting capacity; gross and net of raw materials; quality; mineral and vegetable impurities; losses: billets, whole stalks, stumps, cane pieces and total; quality of the base cutter: cutting height, knuckles of shock index and cutting shear; and cutting quality of the chopper: billets size and shear rate. After data analysis statistically it has been proven that the machine showed better performance results was the treatment 2 since the harvester was able to achieve a higher harvest speed achieving greater operational efficiency with loss rates and quality of raw material similar to the others treatments.

KEYWORDS: sugarcane harvesting, agricultural mechanization, machinery, effective harvesting capacity, quality control charts, losses

INTRODUÇÃO

São Paulo é o maior Estado produtor de cana-de-açúcar do Brasil, e, consequentemente, também o maior produtor potencial de açúcar e etanol. Na safra 2015/16 os canaviais se recuperam da restrição hídrica na safra passada. As chuvas excessivas no trimestre final do ano de 2015 prejudicaram a colheita em algumas regiões. Com isso, a estimativa de colheita de cana bisada na safra 2016/17 é maior, o que proporciona aumento na produtividade, com decréscimo previsto no ATR, 6,3% frente a safra 2014/15. Normalmente entre dezembro e março as usinas realizam manutenção, por isso, é considerada a entressafra. Porém, excepcionalmente, algumas usinas não pararam a produção devido a questões mercadológicas, aproveitando as condições de câmbio favoráveis o que pode acarretar problemas na colheita e impactos nos próximos anos (CONAB, 2016).

A região de Catanduva, onde foi realizado o ensaio é uma das três principais macro-regiões produtoras do estado e por isso foi escolhida como o local para o ensaio 1. Os espaçamentos de plantio duplo alternados vêm sendo comparados com espaçamentos simples na busca de dados para a definição sobre qual espaçamento adotar com melhor relação custo x benefício e a análise da colheita deve ser uma das principais áreas avaliadas, uma vez que representa grande parcela dos custos e a qualidade dessa operação é fundamental, pois envolve perdas de campo e qualidade de matéria-prima entregue na indústria que pode vir a inviabilizar ou não sua adoção.

Diante disso, objetivou-se nesse trabalho fazer a análise completa de desempenho de três colhedoras de cana-de-açúcar em uma situação de canavial parcialmente acamado em uma área com espaçamento de plantio duplo alternado.

MATERIAL E MÉTODOS

O material e métodos foram os mesmos já demonstrados no capítulo 2 dessa tese, sendo avaliados as seguintes variáveis: produtividade agrícola, velocidade de colheita, capacidade de campo efetiva bruta e líquida, eficácia de manipulação, matéria estranha mineral e vegetal, perdas totais e subdivididas e consumo de combustível.

Os tratamentos utilizados foram constituídos por três máquinas, que possuíam as seguintes características técnicas:

1. **Tratamento 1 (CASE 1)** – Colhedora **Case IH A8800 Multirow sem rolos verticais**: Motor FPT C9 (*Tier III*) de 6 cilindros de 9 litros, de 260 kW (358 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema *Smart Cruise*, de controle de rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m e sistema de controle automático do corte de base *Autofloating* (Figura 23 – item a). A colhedora possuía o sistema automático de direcionamento com correção de sinal via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador.
2. **Tratamento 2 (CASE 2)** – Colhedora **Case IH A8800 Multirow com rolos verticais**: Motor FPT C9 (*Tier III*) de 6 cilindros de 9 litros, de 260 kW (358 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema *Smart Cruise*, de controle de rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m e sistema de controle automático do corte de base *Autofloating* (Figura 23 – item b). A colhedora possuía o sistema automático de direcionamento com correção de sinal via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador.
3. **Tratamento 3 (JOHN DEERE)** – Colhedora **John Deere 3522**: Motor 6090T *PowerTech* (*Tier II*), com 9 litros, de 279 kW (380 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema *Field Cruise*, de controle de rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m e sistema de controle integrado do corte de base *CICB* (Figura 24). A colhedora possuía o sistema automático de direcionamento

com correção de sinal via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador.



Figura 23. Colhedoras de Cana Case IH A8800 *Multirow* sem os rolos verticais – Tratamento 1 (a) e com os rolos verticais – Tratamento 2 (b).

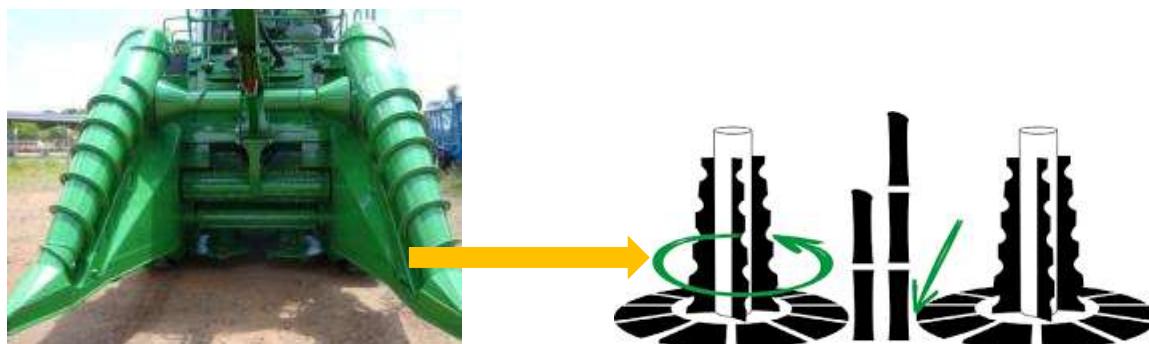


Figura 24. Colhedora de Cana John Deere 3522 – Tratamento 3.

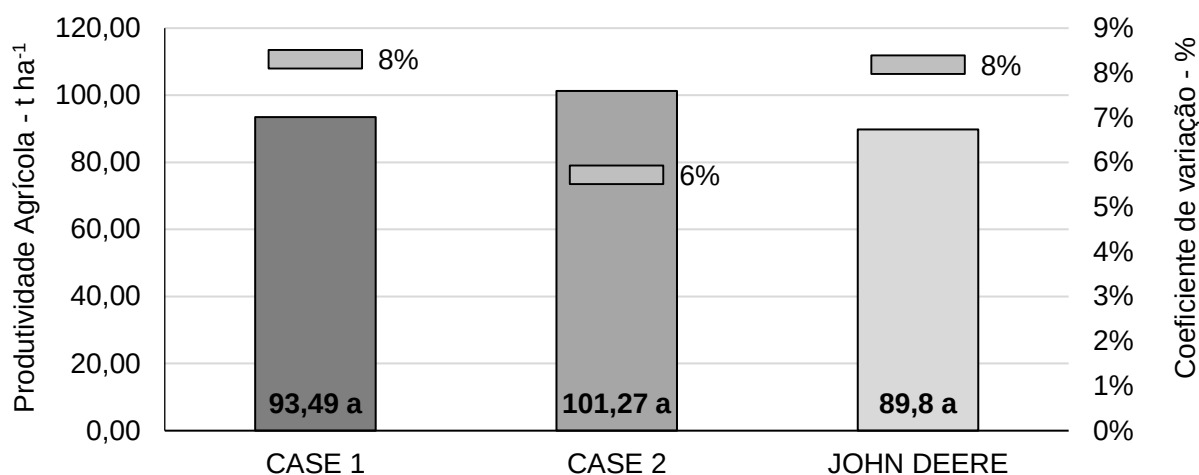
Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e cinco repetições realizando-se a colheita das repetições (“tiros de colheita”) na máxima velocidade de deslocamento, totalizando 15 determinações no ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Condições do ensaio.

1.1. Produtividade agrícola.

A produtividade agrícola média da área foi de $94,85 \text{ t ha}^{-1}$ em um canavial de terceiro corte, considerada boa uma vez que a média da região centro-sul na safra 2015/2016 foi de 80 t ha^{-1} (CONAB, 2016). Não houve diferença entre as médias dos tratamentos para a produtividade (Figura 25), apesar de apresentar uma diferença absoluta de 12 t ha^{-1} entre a média maior e menor, o que significa que todas as máquinas trabalharam em condições semelhantes.



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

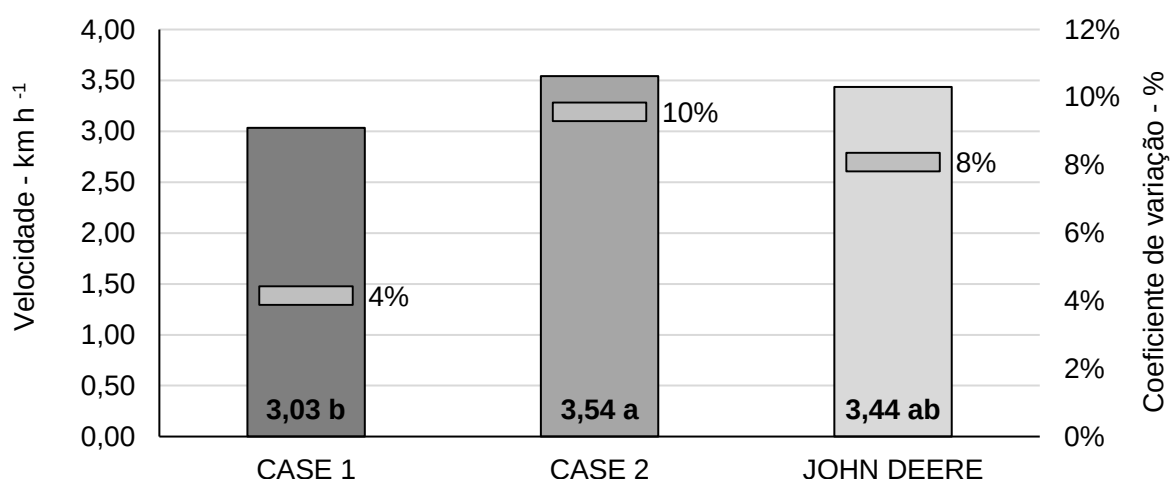
Figura 25. Produtividade agrícola – t ha^{-1} : comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.2. Velocidade de colheita.

A velocidade de deslocamento das colhedoras está relacionada diretamente à produtividade agrícola, dependendo da quantidade de material a ser colhido e a

capacidade de alimentação e processamento das máquinas. No caso do ensaio realizado, as velocidades de colheita ficaram dentro do limite máximo exigido pela Usina de $6,0 \text{ km h}^{-1}$ para essa área.

Porém, como se observa na Figura 26 houve diferença entre os tratamentos, sendo que o tratamento 2 obteve maior velocidade média que o tratamento 1, mas sem diferença para o tratamento 3 e esses dois por sua vez não diferiram estatisticamente. Atribui-se a maior velocidade observada para o tratamento 2 em relação ao tratamento 1 pela presença dos rolos verticais instalados na máquina Case IH que foram os responsáveis pela melhor alimentação de cana na colhedora e, conseqüentemente, maior velocidade.



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 26. Velocidade de colheita – km h^{-1} : comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

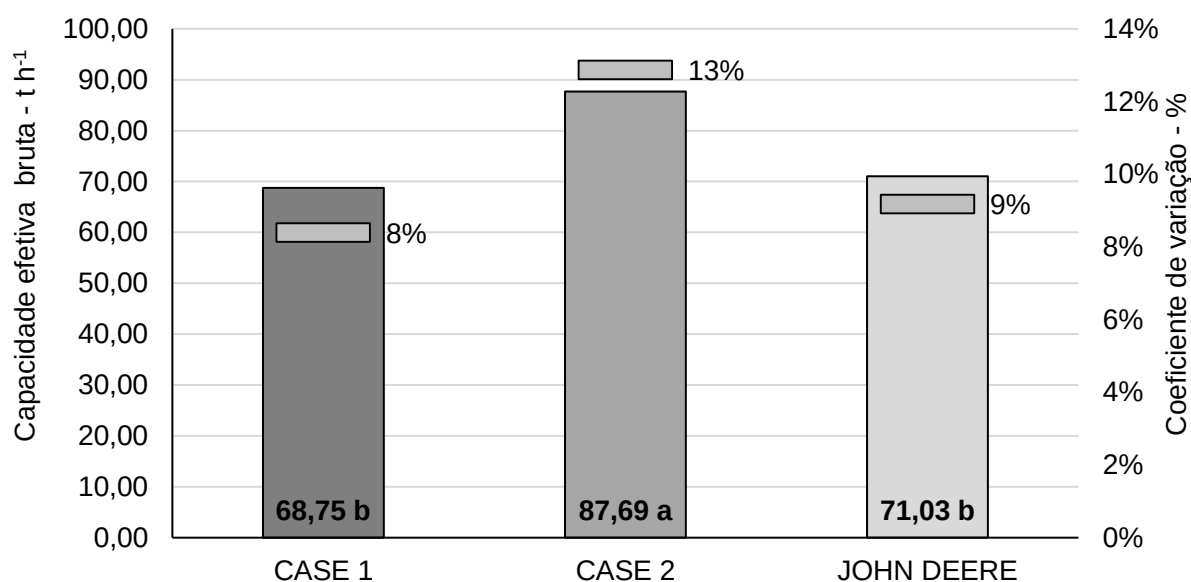
1.3. Capacidade de colheita

1.3.1. Capacidade efetiva bruta e líquida de matéria-prima.

Considerando que a capacidade de colheita é a relação entre a massa colhida (kg ou ton) durante um período de tempo (min ou h), sabe-se que a produtividade

agrícola e a velocidade de deslocamento da colhedora são, portanto, fatores que influenciam diretamente essa variável.

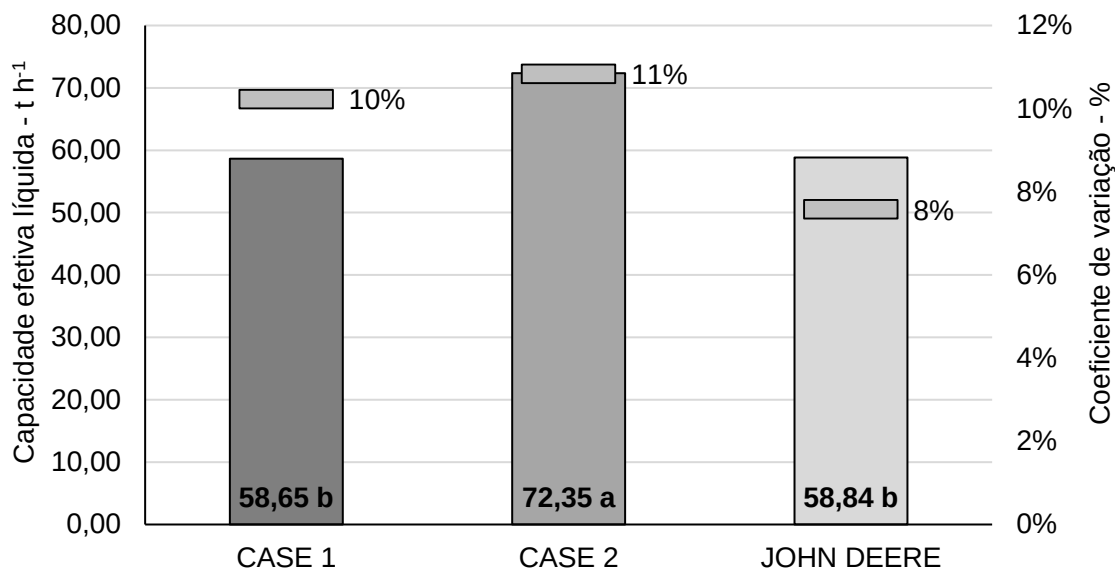
Na Figura 27 observa-se que houve diferença entre o tratamento 2 e os demais para a capacidade efetiva bruta de matéria-prima. O tratamento 2 apresentou melhores resultados podendo afirmar que devido a característica construtiva da máquina essa foi capaz de colher maior quantidade de cana-de-açúcar por hora, fato esse também influenciado pela maior produtividade média do canavial nesses tratamentos.



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 27. Capacidade de colheita bruta – t h⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

Quando se avalia a capacidade efetiva líquida de matéria-prima, que significa o quanto de colmos industrializáveis realmente foram colhidos do campo descontando todas as impurezas, observamos um comportamento semelhante à capacidade efetiva bruta, em que somente o tratamento 2 diferiu estatisticamente dos demais, comprovando que os rolos verticais realmente têm influência na capacidade de colheita (Figura 28).



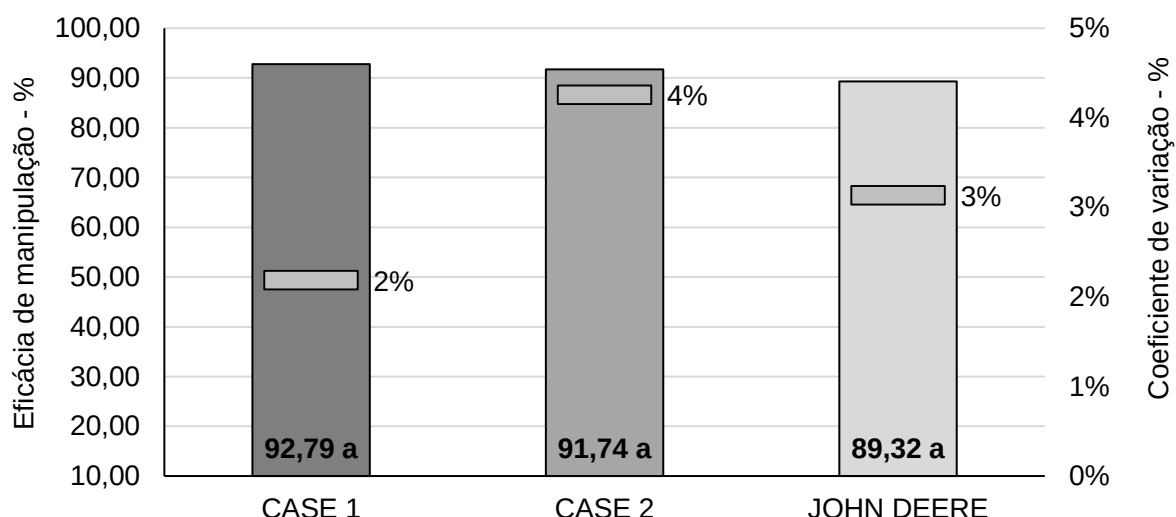
Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 28. Capacidade de colheita líquida – t h⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

Quando se compara os resultados de capacidade efetiva bruta e líquida de matéria-prima colhida desse ensaio com trabalhos de Cardoso (2011), Schmidt (2011), Belardo (2010), Ripoli (2004), Molina Junior (2000) observa-se que mesmo colhendo duas fileiras, os valores ficaram entre 58 t h⁻¹ e 88 t h⁻¹, ou seja, semelhante a resultados de máquinas de uma fileira, porém vale lembrar que esse canavial estava parcialmente acamado o que dificulta o deslocamento das máquinas durante a colheita e que acaba por prejudicar esses indicadores. Os demais trabalhos realizados até então sempre foram em canaviais eretos, visando ter o melhor desempenho das colhedoras em campo evitando a influência do porte dos canaviais. Isso ressalta a importância de realização de mais ensaios padronizados em condições de canaviais adversas.

1.4.Eficácia de manipulação.

Com relação à eficácia de manipulação que, segundo Ripoli e Ripoli (2009), vem a ser o parâmetro que qualifica a operação de retirada de matéria-prima do campo, apesar de os tratamentos 1 e 2 atingirem valores absolutos acima de 90% e o tratamento 3 ter ficado abaixo dessa porcentagem, não houve diferença entre eles (Figura 29). Quando comparados os resultados com ensaios padronizados recentes que usaram a mesma metodologia Cardoso (2011), Schmidt (2011), Belardo (2010) nota-se que os valores percentuais estão abaixo daqueles obtidos com colhedoras de uma fileira e semelhantes aos valores obtidos pelas máquinas de duas fileiras avaliadas conforme os trabalhos de Testa (2014) e Rosa (2013). Para os autores o ideal para a eficácia de manipulação é manter-se acima de 94% em cana crua.



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

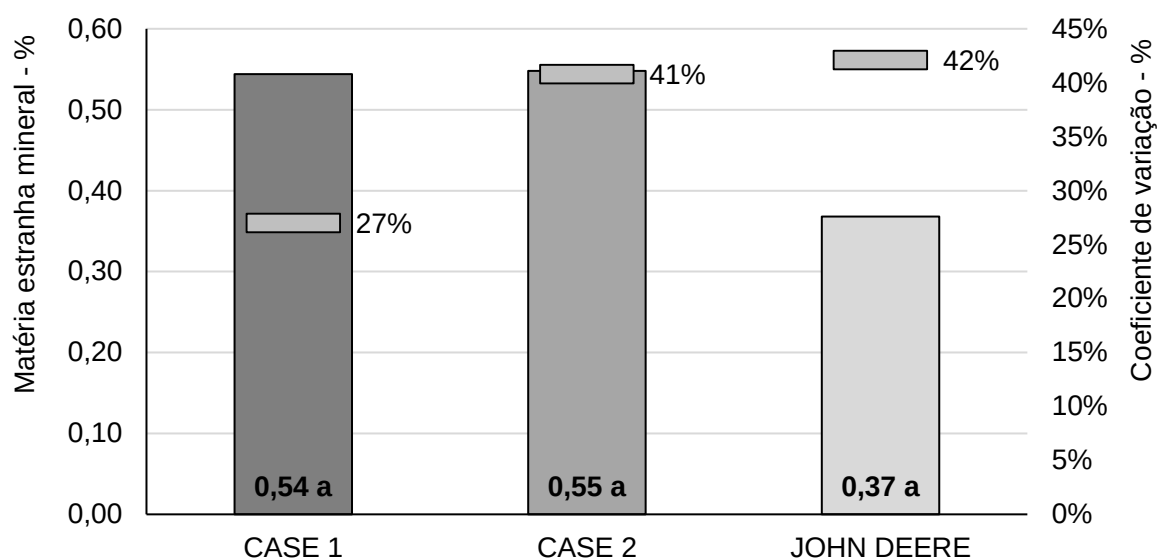
Figura 29. Eficácia de manipulação – %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.5. Qualidade de colheita.

A qualidade de matéria-prima colhida, ou seja, análise dos índices de matéria estranha minerais e vegetais não apresentou diferença entre os tratamentos apesar do alto coeficiente de variação. Os valores ficaram dentro dos limites aceitáveis pelas usinas para matéria estranha minerais (abaixo de 1,5%) e acima dos índices aceitáveis para matéria estranha vegetais (acima de 4,0%) conforme figuras 30 e 31. Muito provavelmente devido à maior quantidade de matéria-prima processada por tempo com a colheita de duas fileiras concomitantemente.

1.5.1. Matéria estranha mineral.

Com relação à matéria estranha mineral, não houve diferença entre os tratamentos apesar do alto coeficiente de variação obtido nos tratamentos, todos se mantiveram em níveis aceitáveis entre baixos e médios apesar do alto coeficiente de variação encontrado. Segundo a classificação de Neves (2015a) e do CTC (Centro de tecnologia canavieiro) que consideram matéria estranha mineral menor de 0,3% como nível baixo, entre 0,3 e 0,6% nível médio e acima de 0,6% alto. Para Ripoli e Ripoli (2009) essa variável deve ser menor que 1,5% e para Belardo et al. (2015) menor que 1%, nesse caso o tratamento 3 da máquina John Deere apesar de não diferir estatisticamente dos demais, segundo a classificação de Neves (2015a), obteve índices baixos enquanto que os demais apresentaram índices médios. Já segundo a classificação de Ripoli e Ripoli (2004) e Belardo et al. (2015) todos se mantiveram-se em níveis aceitáveis (Figura 30).

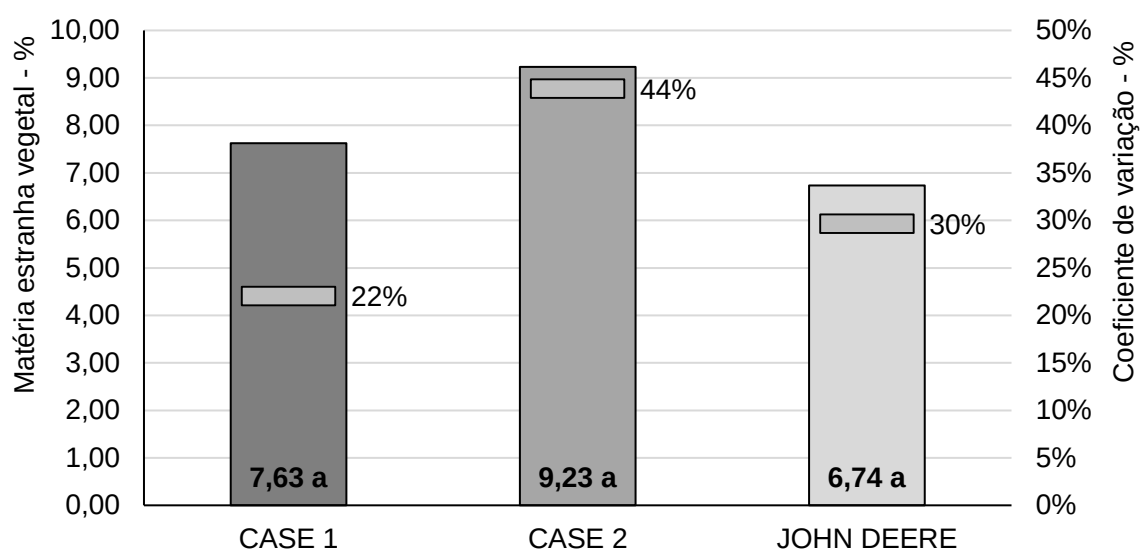


Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 30. Matéria estranha mineral - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.5.2. Matéria estranha vegetal.

Com relação à matéria estranha vegetal (Figura 31), também não houve diferença entre os tratamentos, porém, os níveis encontraram-se acima de resultados de avaliações semelhantes, sendo um ponto de extrema importância e relevância, pois está diretamente relacionado à qualidade da matéria-prima que é entregue na indústria. Vale lembrar que, segundo Neves (2015a) que classifica índices baixos menores que 4%, índices aceitáveis estão entre 4 e 6% e índices elevados acima de 6%, para Ripoli e Ripoli (2009) e Belardo et al. (2015) esse índice deve ser menor que 5%. Nesse trabalho observa-se que apesar de todos os tratamentos não diferirem entre si, todos tiveram índices elevados de matéria estranha vegetal acima de 6%.

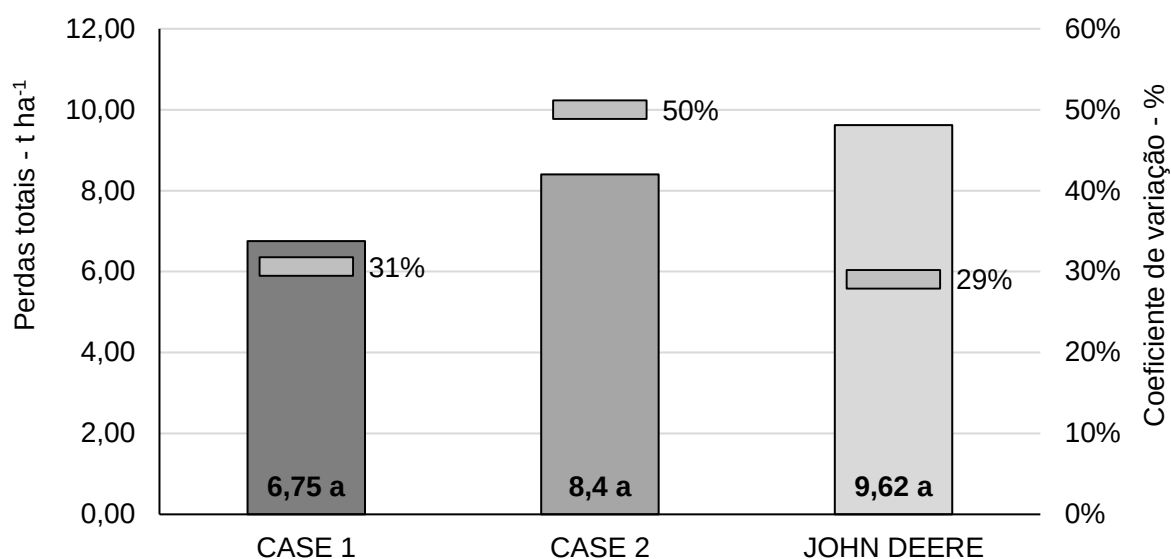


Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 31. Matéria estranha vegetal - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.6. Perdas.

Não foram observadas diferenças para os valores de perdas totais em $t\ ha^{-1}$ e percentagem (Figuras 32 e 33). Os valores de perdas encontrados, entre 6,75 a 9,62 $t\ ha^{-1}$ são semelhantes aos levantados por Rosa (2013) que avaliou uma colhedora de duas fileiras e obteve perdas entre 6,0 a 7,5 $t\ ha^{-1}$. Porém, vale lembrar que o canavial desse ensaio foi classificado como parcialmente acamado, enquanto que no trabalho realizado pelo autor como ereto, o que justifica esse aumento de perda da ordem de 0,75 a 2,60 $t\ ha^{-1}$ uma vez que a metodologia utilizada foi semelhante e sabe-se que canaviais acamados e deitados têm índices de perdas maiores. Não houve diferença estatística entre os tratamentos e todos foram considerados com perdas elevadas acima de 4,0 $t\ ha^{-1}$.

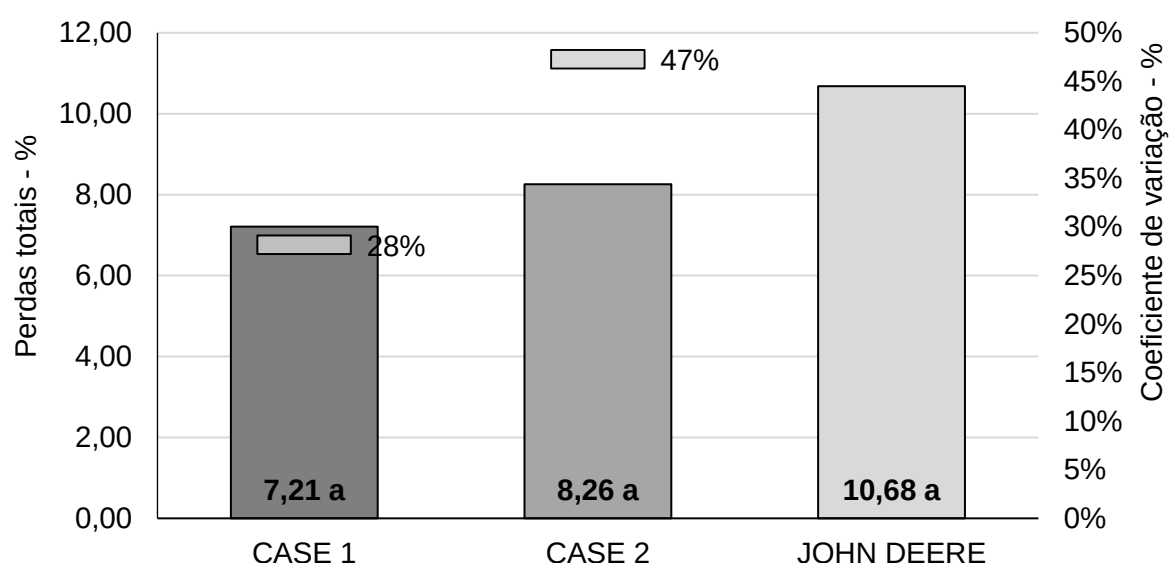


Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 32. Perdas totais – t ha⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos, e coeficientes de variação (%).

Monaco Junior (2011) ensaiando duas colhedoras de cana-de-açúcar, sendo uma delas para espaçamento adensado, colhendo duas fileiras, e outra para a colheita em plantio de espaçamento simples de 1,40 m, colhendo uma fileira de cana-de-açúcar, verificou maior desempenho operacional da colheita de duas fileiras em 50%, sendo que a perda de matéria-prima foi maior entre 20 a 50% quando colhendo duas fileiras simultâneas.

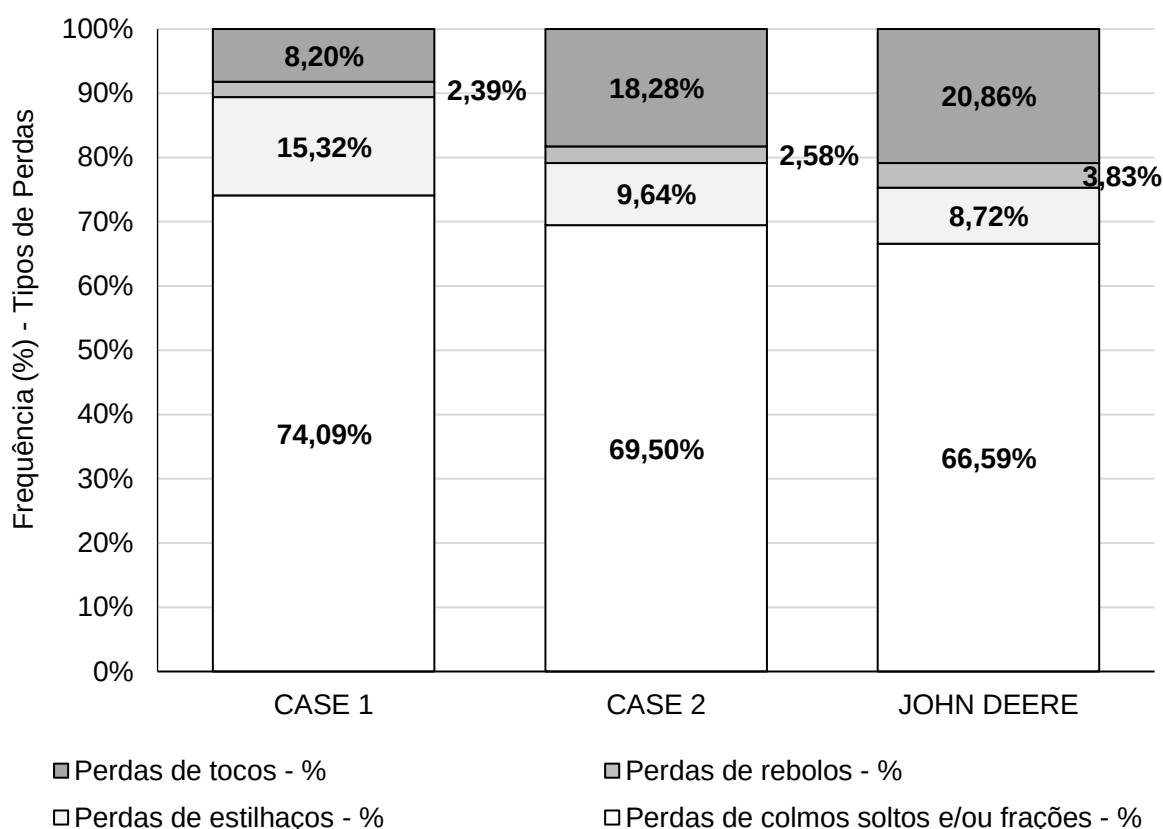
Quando se avalia as perdas em porcentagem, também se nota que os valores são elevados, atingindo resultados de 7,21 a 10,68% (Figura 33). Porém, quando comparamos com o encontrado por Rosa (2013) esse foi menor entre, 4,0 a 4,4% e essa diferença está diretamente relacionada à produtividade e porte do canavial que no trabalho de Rosa (2013) era ereto e com produtividade média de 155 t ha⁻¹.



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 33. Perdas totais – %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

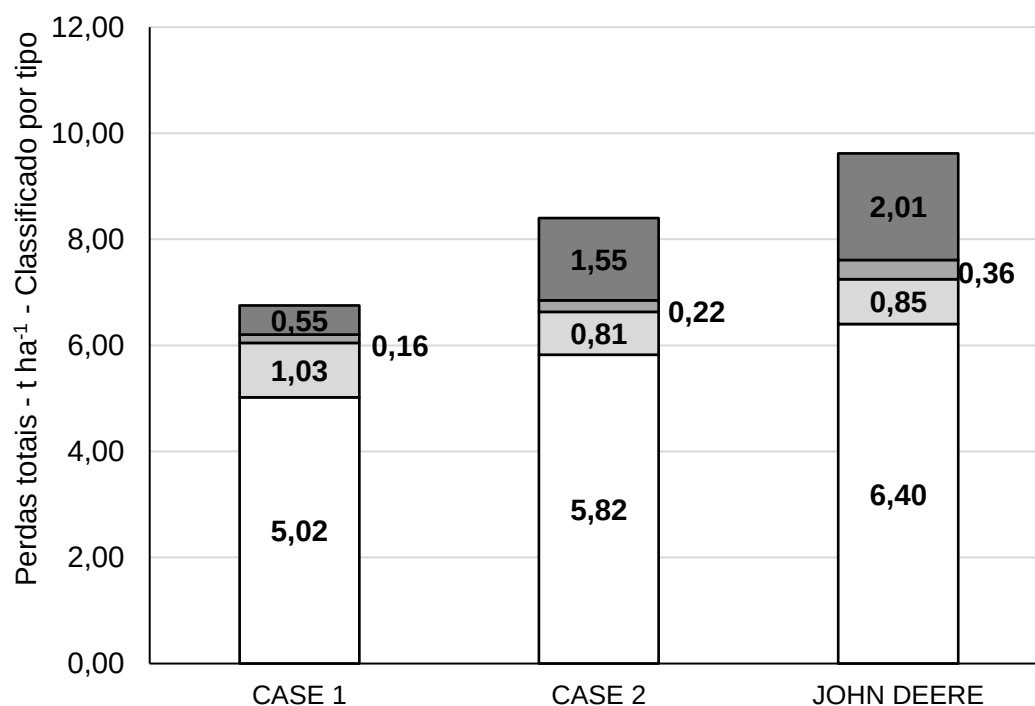
Esses valores são praticamente o dobro dos encontrados nas principais pesquisas realizadas com a colheita de uma fileira conforme trabalhos de Schimdt Junior (2011), Cardoso (2011), Belardo (2010), Ripoli (2004), Mazonetto (2004), Carvalho Filho (2000) e Nery (2000). Vale salientar que a principal parcela de perda está relacionada as perdas de pedaços soltos e suas frações que apresentou frequência entre 66 a 75%. Esse índice pode estar relacionado ao porte do canavial, uma vez que em canaviais deitados e acamados esse nível de perda é maior, porém, nos tratamentos 1 e 2 esse índice foi maior que o tratamento 3 e pode estar relacionado ao sistema de corte da colhedora que possui os discos de corte de base localizados no divisor de linhas para posterior alimentação no corte de base original da máquina e essa característica pode ter influência nessa perda específica. As perdas de tocos, por sua vez, mostraram frequência entre 8 a 15% sendo mais representativa no tratamento 3, o que também pode ser relacionado ao sistema construtivo do corte de base fixo dessa colhedora (Figura 34).



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 34. Frequência de ocorrência de perdas subdividida pelo tipo de perda (%).

As perdas na colheita são extremamente importantes e um dos principais pontos a serem avaliados diariamente nas Usinas, tendo fundamental relevância na tomada de decisões relacionada à gestão de colhedoras. No presente trabalho, fica evidente que as perdas totais, as perdas de tocos e perdas de pedaços soltos e suas frações são o maior gargalo na colheita de duas fileiras (Figura 35). Sendo assim, são os pontos de maior atenção na definição da adoção desse sistema de colheita, pois implica em uma mudança de cultura e quebra de paradigmas que envolve todos os processos agrícolas, desde o planejamento, passando pela sistematização da área, preparo, plantio, tratos culturais e todas as etapas subsequentes, até chegar à colheita.

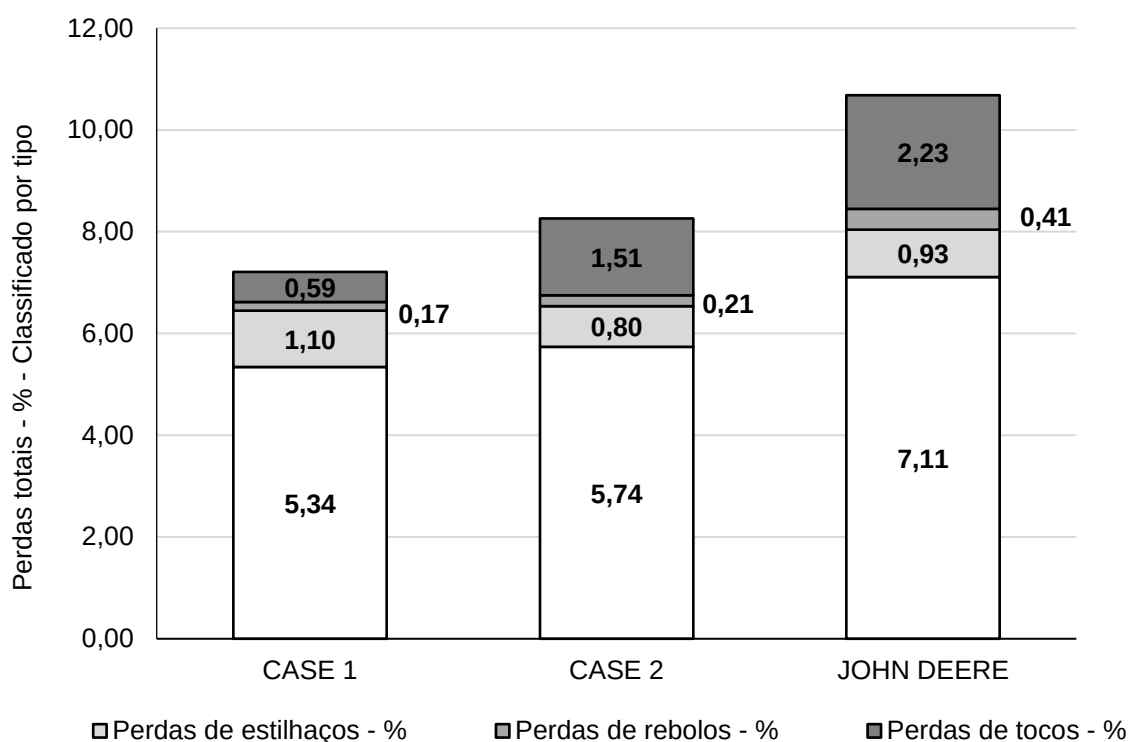


■ Perdas de rebolos - t/ha
 ■ Perdas de estilhaços - t/ha
 ■ Perdas de colmos soltos e/ou frações - t/ha
 ■ Perdas de colmos fixos - t/ha

Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 35. Perdas totais – t ha⁻¹: participação relativa por tipo (colmos soltos e/ou frações, estilhaços, rebolos e tocos).

Quando avaliamos as perdas por tipo percentualmente (Figura 36) observamos que os índices estão bem acima do considerado ideal e, nesse caso as perdas variaram de 7% a 10%, quando o desejável seria abaixo de 4,5% segundo Neves et al. (2004) e abaixo de 5% segundo Belardo (2010), principalmente relacionados as perdas de colmos soltos e suas frações.



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

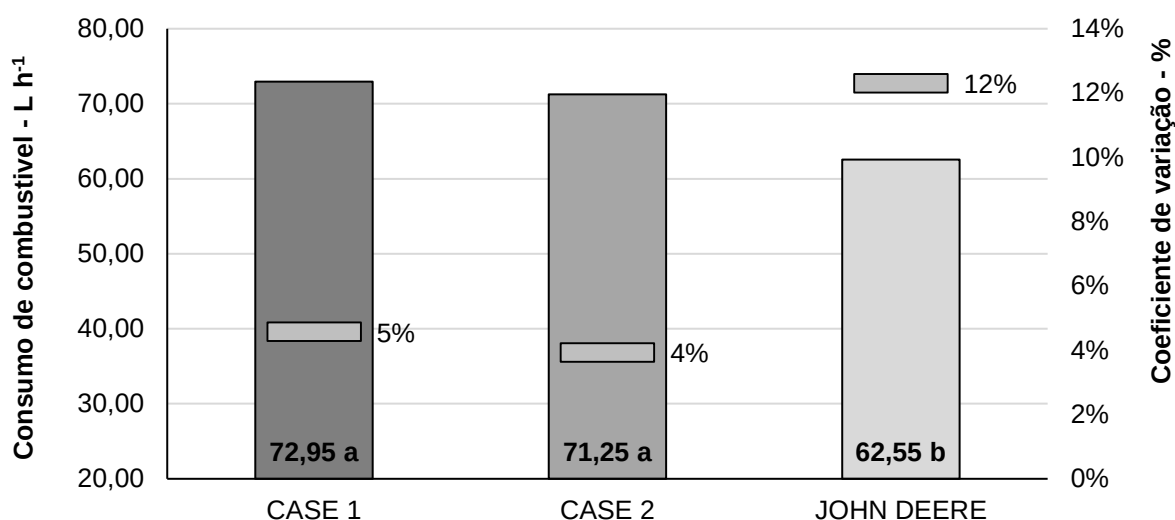
Figura 36. Perdas totais – %: participação relativa por tipo (colmos soltos e/ou frações, estilhaços, rebolos e tocos).

1.7. Consumo de combustível.

O consumo de combustível de colhedoras de cana, também é um dos principais fatores a serem avaliados, uma vez que reflete diretamente nos custos de corte, transbordamento e transporte. Diversas usinas avaliam o consumo em $L\ h^{-1}$ uma vez que essa informação é a mais rápida a ser levantada em campo, porém uma análise mais detalhada de consumo é fundamental para a mensuração do consumo por carga em $L\ t^{-1}$, uma vez que o produto entregue na indústria é mensurado em toneladas e, portanto, esses custos devem ser mensurados nessa unidade.

1.7.1. Consumo horário de combustível.

Conforme observamos na Figura 37, houve grande variação de consumo horário de combustível, sendo que o tratamento 3 diferiu dos demais mostrando consumo menor em aproximadamente 10 L h⁻¹. O consumo horário muitas vezes é utilizado como parâmetro de qualidade dentro das Usinas, porém, vale lembrar que nunca deve ser considerado isoladamente, afinal o mais importante é saber o consumo por tonelada (em L t⁻¹) que relaciona o consumo horário pela produtividade da máquina.



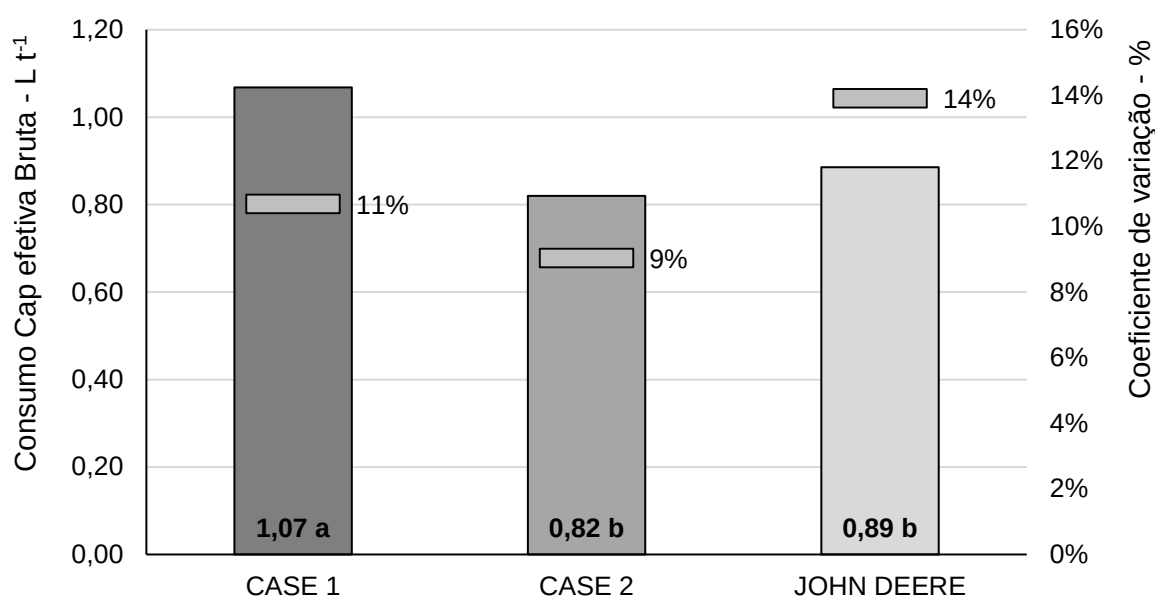
Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 37. Consumo de combustível – L h⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação.

1.7.2. Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta e líquida.

Para uma análise detalhada do consumo de combustível e correta tomada de decisão é fundamental o controle calculado por tonelada de cana colhida. Na Figura 38 observamos o consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima.

Nota-se que o tratamento 1 diferiu dos demais com o consumo mais elevado acima de $1,0 \text{ L t}^{-1}$ enquanto os demais tratamentos apresentaram resultados semelhantes entre $0,8$ e $0,9 \text{ L t}^{-1}$. Esse é o indicador mais real para ser usado na Usina, uma vez que é o cálculo entre o material colhido em campo e entregue na indústria correlacionado com o consumo de combustível no período de trabalho efetivo.

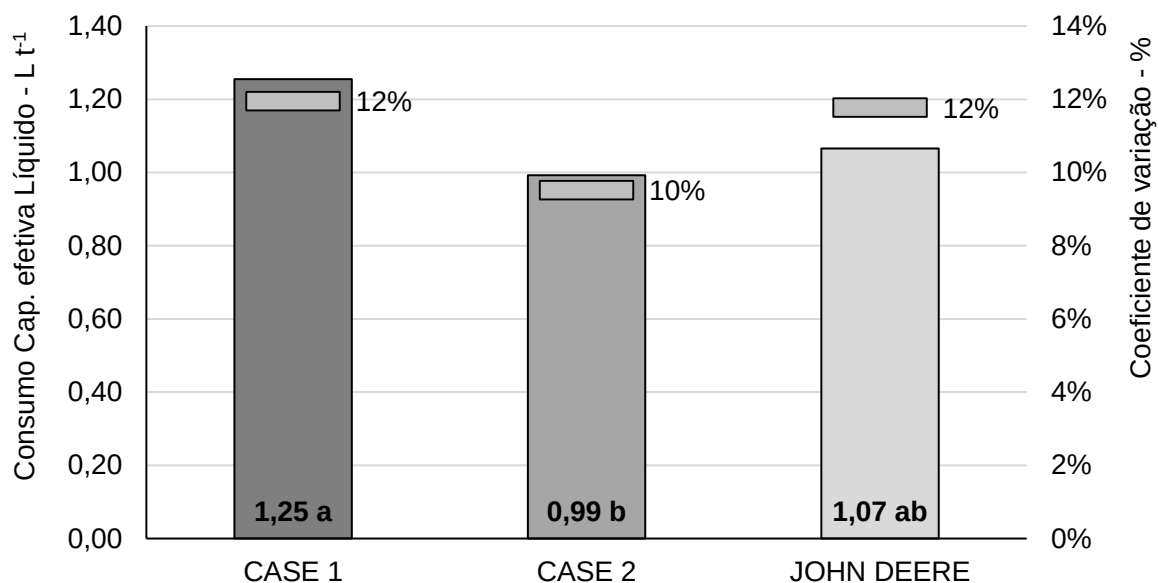


Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 38. Consumo de combustível na Capacidade efetiva bruta – L t^{-1} : comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

Observa-se que apesar do consumo de combustível por hora do tratamento 3 ser menor e ter uma diferença estatística significativa com relação aos demais (Figura 37), quando se analisa o consumo de combustível na capacidade efetiva bruta essa situação se reverte e os tratamentos 2 e 3 tornam-se semelhantes, mostrando que a análise de consumo em litros por tonelada tem diferença quando comparada em consumo por hora, sendo, portanto, a mais indicada para uso e controle da área agrícola na Usina.

O consumo na capacidade efetiva líquida, também apresentou diferença estatística entre o tratamento 1, com consumo acima de $1,2 \text{ L t}^{-1}$ e o tratamento 2 que apresentaram consumo de $0,99 \text{ L t}^{-1}$ (Figura 39). É importante salientar que nesse cálculo desconta-se as perdas e matéria estranha do material colhido consideram-se somente os colmos industrializáveis entregues na industrial



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 39. Consumo de combustível na capacidade efetiva Líquida - L t^{-1} : comparativo entre médias dos tratamentos, coeficientes de variação (%) e respectivos resultados para análise estatística.

Quando se analisou o consumo de combustível na capacidade efetiva líquida, observamos que o tratamento 1 difere-se do tratamento 2 que apresenta melhores resultados. O tratamento 3 por sua vez apresentou resultados iguais estatisticamente quando comparados aos demais. Esse comportamento está diretamente relacionado à qualidade de matéria-prima colhida e índices de perdas e, apesar de ser um indicador extremamente importante, pois, correlaciona a qualidade de colheita com o consumo de combustível, quase nunca é analisado na usina devido à dificuldade de

gerar informações de qualidade (matéria-prima e perdas) que possam ser correlacionadas com o consumo no dia a dia.

1.8. Avaliação do corte basal.

Mais recentemente outras avaliações relacionadas à qualidade de colheita vêm sendo realizadas visando correlacionar os efeitos da colheita mecanizada à longevidade e produtividade de cana soca uma vez que a cana-de-açúcar é uma cultura semi perene e observa-se em campo que práticas para diminuir a compactação e preservar a soqueira tem demonstrados ganhos em longevidade e produtividade na cultura (CASSIA e SILVA, 2015).

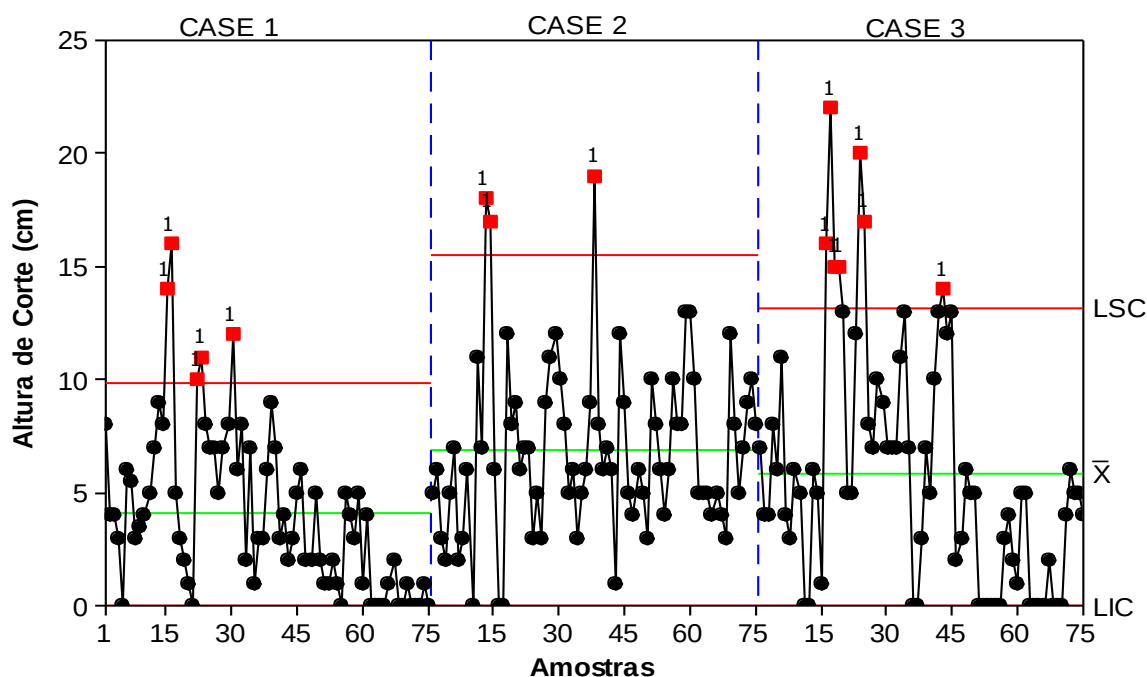
Do ponto de vista da análise de desempenho de colhedoras, um dos principais fatores relacionados ao corte de base passa a ser a altura do corte, qualidade do corte e o abalo sofrido pela soqueira.

Após analisar quesitos agronômicos e operacionais, a altura de corte e os danos causados aos colmos das soqueiras foram adotados como principais indicadores de qualidade de processo (TOLEDO et al. 2015).

1.8.1. Altura de corte.

Na Figura 40 observa-se que para os o tratamento 1 apenas 5 pontos ficaram acima do limite superior de controle, no tratamento 2 apenas 3 pontos acima e no tratamento 3 com 6 pontos, podendo assim considerar que a operação de corte de base pode ser controlada e está sob controle, isso porque o número de pontos amostrais foi elevado. O limite superior para o tratamento 1 foi de 11 cm, para o tratamento 2 de 14 cm e para o tratamento 3 de 16 cm representando melhor qualidade na altura de corte o tratamento 1 e assim respectivamente os demais. Se analisarmos a carta de controle considerando a altura de corte de 10 cm, por sua vez verificamos que apenas o tratamento 1 tem número pequeno de pontos acima desse limite, os demais apresentam número elevado de pontos acima de 10 cm, ou seja, fora de controle. Essa conclusão é semelhante ao resultado do trabalho realizado por Toledo et al. (2015) que analisando o controle de uma colhedora de cana com

diferentes tipos de facas, considerou o processo sem controle devido ao grande número de pontos acima do limite superior de 10 cm. Se consideramos a altura de corte ideal de 5 cm, o processo passa a ficar ainda pior, mostrando que a altura do corte de bases, também é um ponto crítico uma vez que a maior quantidade de açúcar encontrasse na base dos colmos de cana-de-açúcar.



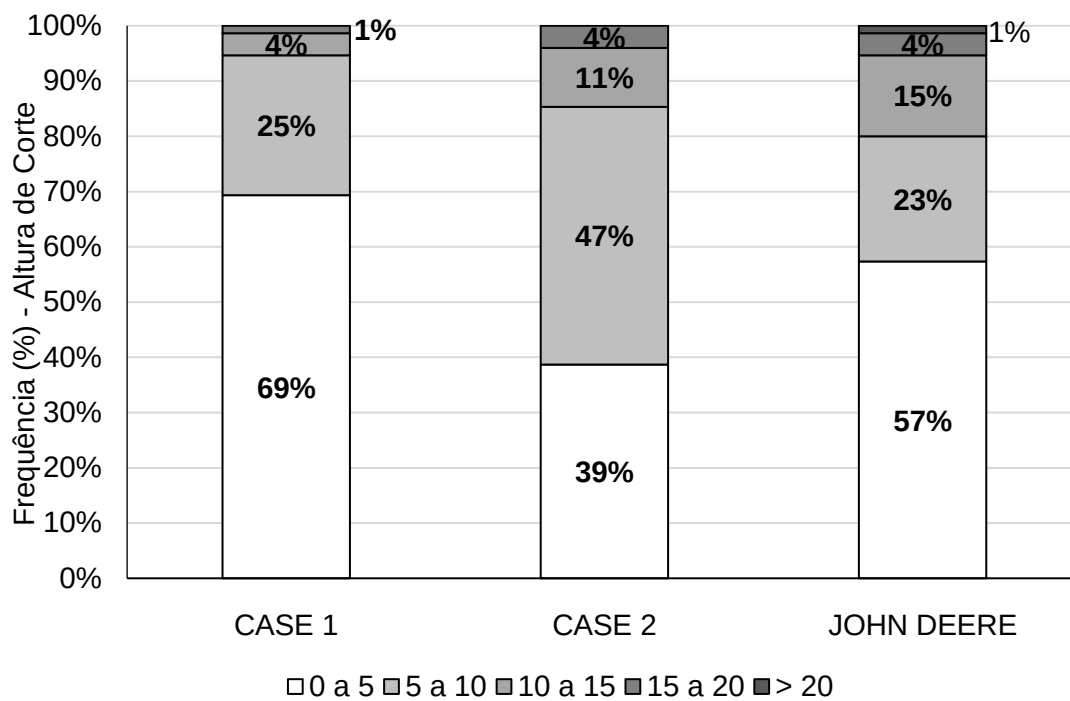
Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 40. Altura de corte - cm: carta de controle por tratamento.

Apesar disso, pode-se considerar que o tratamento 1 obteve melhores resultados pois o ideal é que a altura de corte esteja abaixo de 5 cm. Quando analisamos a média dos tratamentos fica evidente que esse tratamento foi melhor, com médias de 4 cm de altura, que o tratamento 3 foi melhor que o tratamento 2 (6 e 7 cm respectivamente) porém ambos com médias acima de 5 cm.

Quando se avalia a frequência da altura do corte de base (Figura 41), vemos que 69% do tratamento 1 estava no limite aceitável e que 25% estava no limite razoável (até 10cm), ou seja apenas 5% estava acima do nível de controle. Já para o tratamento 2, 39% estava na altura ideal e 47% no limite razoável, com 15% acima.

No tratamento 3 tivemos 57% na altura ideal, 23% na razoável e 20% acima desse limite.



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

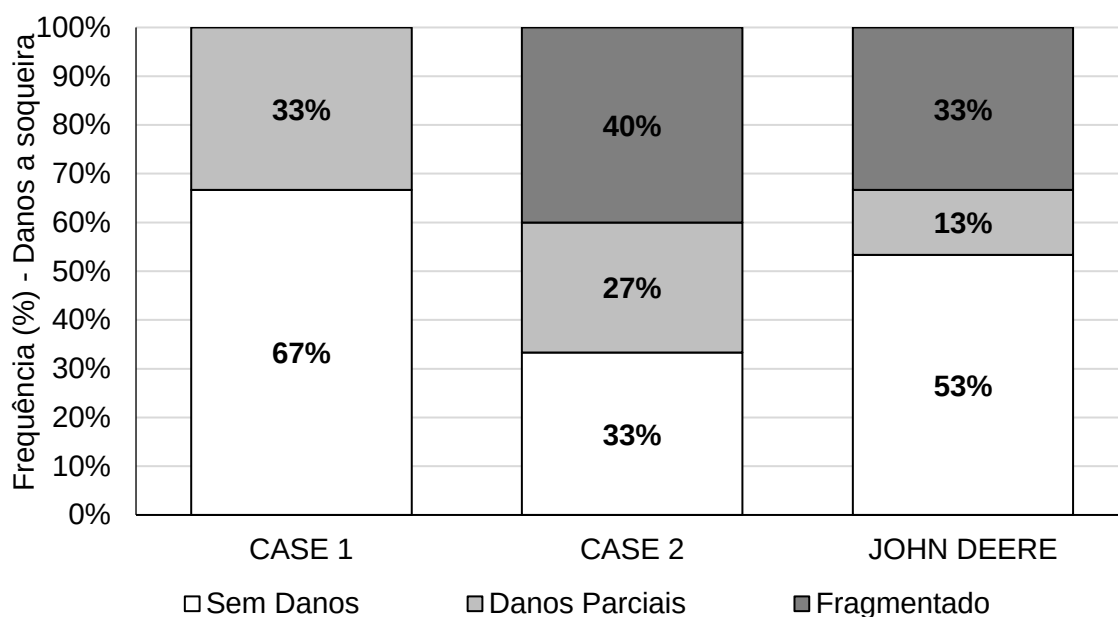
Figura 41. Altura de corte - cm: frequência por tratamento.

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

O corte de base quando realizado com qualidade, deverá assegurar o melhor aproveitamento da lavoura, com os menores índices de perdas e de contaminações da matéria-prima colhida, bem como garantir as condições agrônômicas propícias para haver a rebrota do canavial sem diminuição da produtividade nas safras futuras (VOLTARELLI et al., 2014).

1.8.2. Danos à soqueira.

A avaliação de danos na soqueira, está diretamente relacionada à longevidade do canavial, uma vez que quando o dano na soqueira é grande prejudica a brotação e consequentemente a produção da cana soca (segundo ano em seguida). Pode-se observar que o tratamento 1 obteve o melhor resultado com 67% das soqueiras sem danos, 33% com danos parciais e 0% de fragmentado. Foi seguido do tratamento 3 que apresentou 53% sem danos, 13% com danos parcial e 33% fragmentado. O tratamento 2 que foi o pior deles com 27% com danos parciais e 40% fragmentados, ou seja, mais de 50% das soqueiras apresentaram danos (Figura 42). Apesar de ser uma avaliação subjetiva e realizada por uma pessoa treinada, deve-se buscar novas alternativas de metodologias para a realização dessa análise.



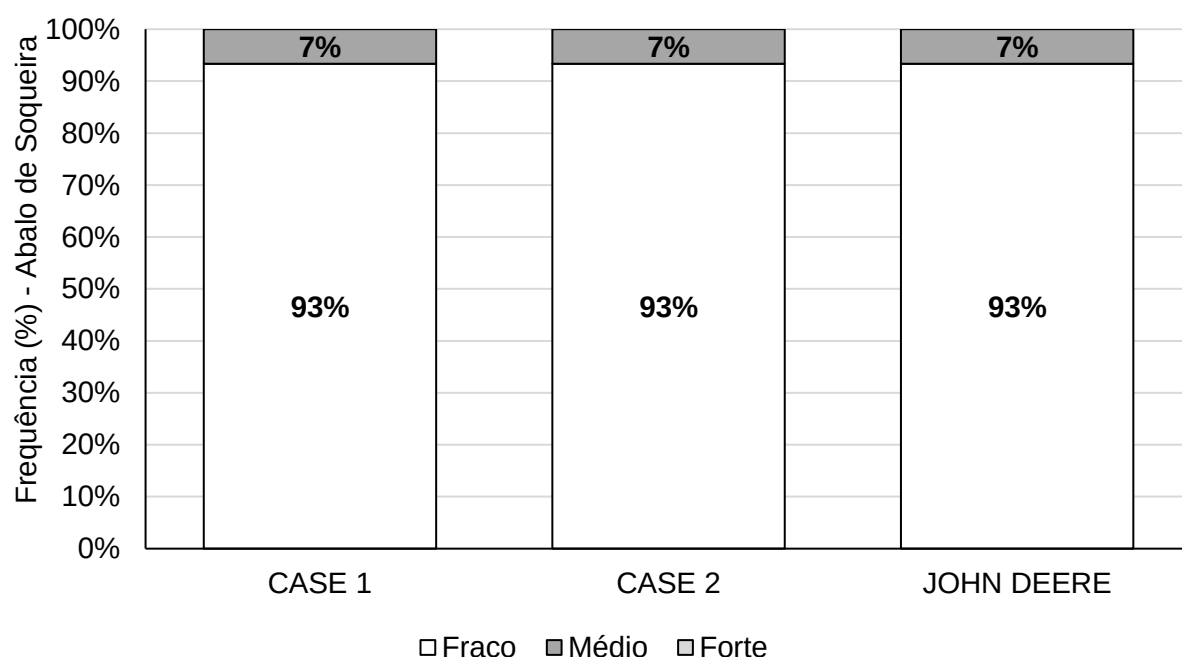
Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 42. Danos à soqueira: frequência por tratamento

1.8.3. Abalo de soqueira.

Os resultados de abalo de soqueira foram de 93% com abalo fraco e 7% com abalo médio, considerados muito bons para a colheita mecanizada para todos os tratamentos (Figura 43).

Esse índice está diretamente relacionado à longevidade do canavial e a produtividade de cana soca, sendo um dos mais importantes na avaliação do dia-a-dia nas Usinas apesar de ser muito pouco utilizado e avaliado. Trabalhos que avaliem a produtividade de cana-de-açúcar com o uso de mecanização durante o ciclo completo da cultura devem ser explorados visando avaliar qual o efeito desse abalo na produtividade dos anos subsequentes e na longevidade do canavial, uma vez que praticamente não existe pesquisa nesse campo.

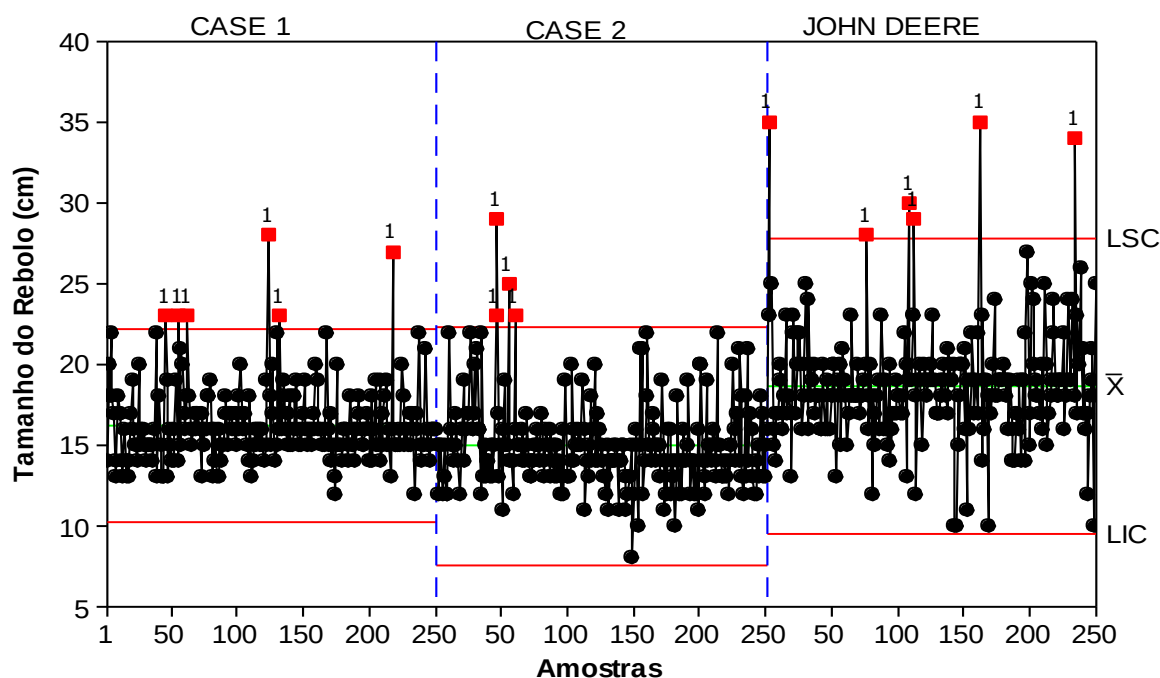


Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 43. Abalo de soqueira: frequência por tratamento.

1.9. Tamanho e cisalhamento de rebolos.

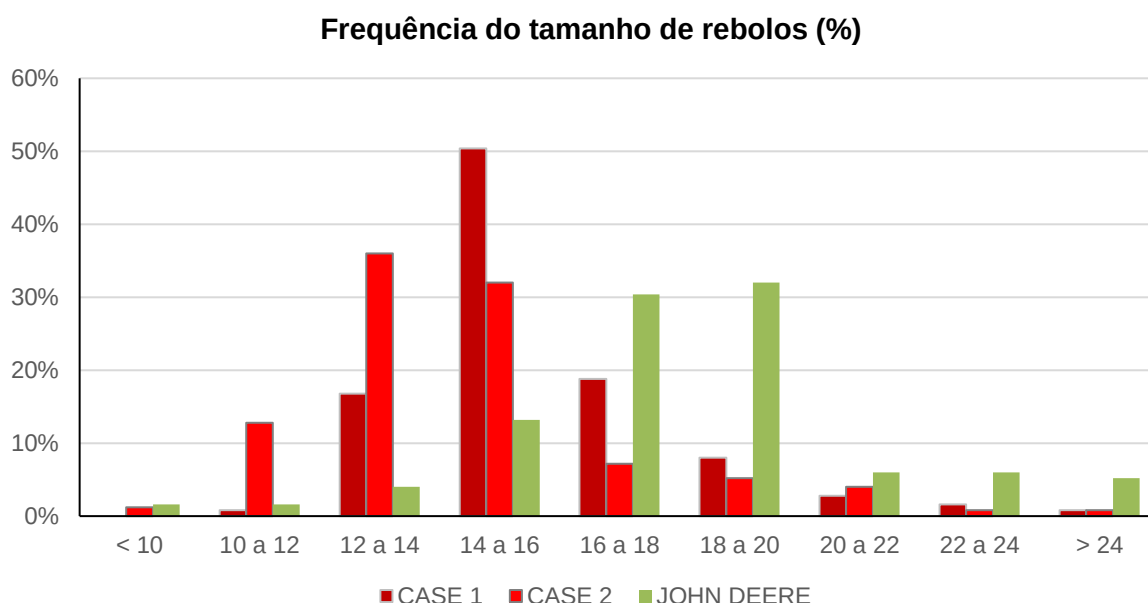
Com relação ao tamanho de rebolos, buscou-se por meio do CEP (controle estatístico de processo), estabelecer o controle de qualidade do rolo picador. Podemos notar que no tratamento 1 temos 6 pontos acima do limite superior, no tratamento 2 são 4 pontos acima do limite superior e o tratamento 3 apresentou 6 acima do limite superior. O tratamento 1 manteve entre 12 a 22 cm, no tratamento 2 entre 10 e 20 cm e no tratamento 3 entre 12 e 22 cm. Podemos afirmar que o tratamento 1 obteve um resultado melhor que o tratamento 2 e que esse por sua vez, foi superior ao tratamento 3 (Figura 44). O uso da carta de controle nos ajuda a verificar quais ações que devem ser tomadas caso tenhamos o processo fora de controle, sendo que nesse caso podemos concluir que apesar de existirem alguns pontos acima do limite superior, o processo estava sob controle. O número de pontos acima do limite superior foi extremamente baixo quando correlacionado com o número de amostras de 250 por tratamento.



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 44. Tamanho de rebolo - cm: carta de controle por tratamento.

Quando se analisa a frequência de tamanho de rebolos, por sua vez, observa-se que os tratamentos 1 e 2 tiveram um resultado melhor, pois mantiveram as suas maiores concentrações entre 12 a 16 cm (tratamento 1) e entre 10 a 14 cm (tratamento 2). O tratamento 3 por sua vez, 17% dos rebolos com tamanho superior à 20 cm (Figura 45). O tamanho ideal de rebolos está entre 12 a 20 cm dependendo da densidade de carga que é exigida pela Usina.

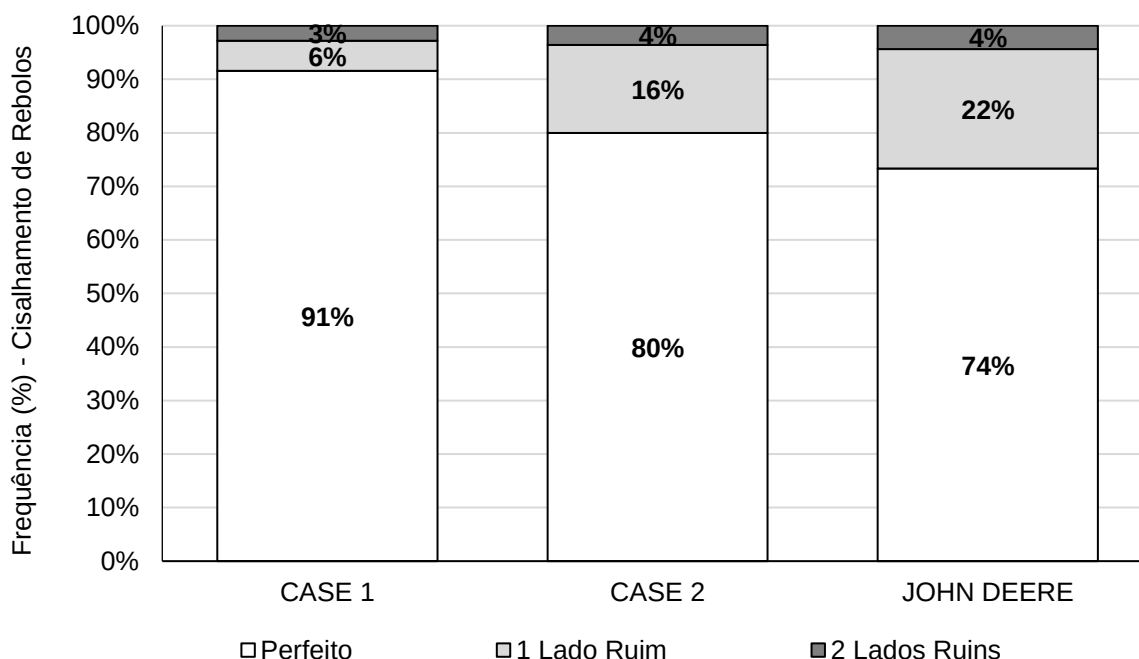


Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 45. Tamanho de rebolos - cm: frequência por tratamento

Analisando a qualidade do cisalhamento de rebolos (Figura 46), estamos verificando a eficiência do rolo picador da colhedora. No presente trabalho para o tratamento 1, 91% dos rebolos estavam perfeitos, 6% com um lado dilacerado e 3% com ambos os lados cisalhados, o que representa um resultado muito positivo. Quando analisamos o tratamento 2 verificamos que os índices de rebolos com ambos os lados ruins aumentam para 4% e que um dos lados ruins aumentam para 16%, muito provavelmente relacionado a maior velocidade de deslocamento da colhedora, mesmo assim os índices foram bons. Já no tratamento 3, o índice de rebolos com dois lados dilacerados foi de 4%, com um lado ruim aumenta para 22% e os rebolos sem

danos ficam em 74%, considerados aceitáveis, porém alguma regulagem do picador pode ser realizada visando melhorar esse índice, uma vez que todas as máquinas estavam com facas novas para essa avaliação.



Tratamentos: Case 1: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* sem rolos verticais; Case 2: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* com rolos verticais; John Deere: colhedora JD 3522.

Figura 46. Cisalhamento de rebolos: frequência por tratamento

1.10. Considerações gerais.

Na Tabela 9 e 10 observa-se todos os resultados obtidos no ensaio e discutidos anteriormente com as devidas análises estatística.

Na tabela 9 estão apresentados os resultados relacionados a classificação da cultura e área de trabalho, do desempenho operacional por meio das capacidades de colheita, da qualidade de colheita demonstrados por meio de das matérias estranhas vegetal e mineral, as perdas de matéria-prima subdivididas por classificação e totais e o consumo de combustível.

Tabela 9. Resumo dos resultados do ensaio: Noble – Potirendaba/SP

SEGMENTO	Parâmetro	Unidade	CASE 1	CASE 2	JOHN DEERE
Condições	Produtividade Agrícola	t ha ⁻¹	93,49 a	101,27 a	89,8 a
	Umidade do solo	%	20,07 a	18,99 a	19,98 a
	Velocidade estimada	km h ⁻¹	3,03 b	3,54 a	3,44 ab
Capacidade	Capacidade Efetiva Bruta	t h ⁻¹	68,75 b	87,69 a	71,03 b
	Capacidade Efetiva Líquida		58,65 b	72,35 a	58,84 b
Qualidade	Matéria estranha vegetal	%	7,63 a	9,23 a	6,74 a
	Matéria estranha mineral		0,54 a	0,55 a	0,37 a
	Matéria estranha total		8,17 a	9,78 a	7,1 a
	Perdas de rebolos	t ha ⁻¹	0,16 a	0,22 a	0,36 a
	Perdas de tocos		0,55 a	1,55 a	2,01 a
	Perdas de estilhaços		1,03 a	0,81 a	0,85 a
	Perdas de colmos soltos		5,02 a	5,82 a	6,40 a
	Perdas de colmos fixos		-	-	-
	Perdas totais		6,75 a	8,4 a	9,62 a
	Perdas de rebolos	%	0,17 a	0,21 a	0,41 a
	Perdas de tocos		0,59 a	1,51 a	2,23 a
	Perdas de estilhaços		1,1 a	0,8 a	0,93 a
	Perdas de colmos soltos		5,34 a	5,74 a	7,11 a
	Perdas de colmos fixos		-	-	-
	Perdas totais		7,21 a	8,26 a	10,68 a
	Eficácia de manipulação	%	92,79 a	91,74 a	89,32 a
Consumo	Consumo de combustível por hora	L h ⁻¹	72,95 a	71,25 a	62,55 b
	Consumo Capacidade Efetiva Bruta	L t ⁻¹	1,07 a	0,82 b	0,89 b
	Consumo Capacidade Efetiva Líquida		1,25 a	0,99 b	1,07 ab

* Letras distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos. A letra “a” indica o maior valor, “b” o segundo e assim sucessivamente.

Na tabela 10 podemos observar um resumo de todos os resultados até então apresentados com relação a qualidade de corte de base e do picador, representadas por meio da altura de corte, danos e abalo na soqueira e tamanho e índice de cisalhamento de rebolos.

Tabela 10. Resumo das frequências de avaliação dos mecanismos de corte de base e picador do ensaio: Noble – Potirendaba/SP

Mecanismo	Parâmetro	Intervalo/Classificação	CASE 1	CASE 2	JOHN DEERE
Corte de base	Altura de corte (cm)	0 a 5	69%	39%	57%
		5 a 10	25%	47%	23%
		10 a 15	4%	11%	15%
		15 a 20	1%	4%	4%
		> 20	-	-	1%
	Danos à soqueira	Sem Danos	67%	33%	53%
		Danos Parciais	33%	27%	13%
		Fragmentado	-	40%	33%
	Abalo de soqueira	Fraco	93%	93%	93%
		Médio	7%	7%	7%
		Forte	-	-	-
Picador	Tamanho de rebolo	< 10	-	1%	2%
		10 a 12	1%	13%	2%
		12 a 14	17%	36%	4%
		14 a 16	50%	32%	13%
		16 a 18	19%	7%	30%
		18 a 20	8%	5%	32%
		20 a 22	3%	4%	6%
		22 a 24	2%	1%	6%
		> 24	1%	1%	5%
	Cisalhamento de rebolo	Perfeito	91%	80%	74%
		1 Lado Ruim	6%	16%	22%
		2 Lados Ruins	3%	4%	4%

CASE 1 = Multi Row / Autofloating / Smart Cruise; **CASE 2** = Multi Row / Autofloating / Smart Cruise / Rolos Verticais; **JOHN DEERE** = 3522 / CICB / Field Cruiser

1.11. Conclusões.

A capacidade efetiva de colheita do tratamento 2 foi maior que os demais, sendo que a configuração da máquina (com rolos verticais e controle automático de altura do corte de base) mostrou um resultado positivo, que permitiu maior velocidade de deslocamento e consequentemente maior capacidade de campo efetiva e eficiência operacional.

Os índices de matéria estranha mineral apresentaram resultados satisfatórios para todos os tratamentos sem diferença estatística entre eles.

Os índices de matéria estranha vegetal por sua vez foram mais elevados e mostraram resultados altos para todos os tratamentos e sem diferença entre eles, sendo ponto de atenção na colheita de fileiras duplas.

Os índices de perdas para todas as máquinas foram maiores que os índices encontrados em pesquisas que utilizaram a mesma metodologia, mas principalmente quando comparados com ensaios padronizados de colhedoras de uma fileira, as perdas de colmos soltos e suas frações são mais elevadas.

O consumo de combustível horário em litros por hora foi menor para o tratamento 3 com diferença entre esse e os demais, porém quando avaliou-se o consumo em litros por tonelada, observa-se que o consumo do tratamento 2 tornou-se melhor que o tratamento 1, e igual ao tratamento 3.

No geral o tratamento 2 apresentou os melhores resultados de desempenho de colheita e de capacidade de colheita, seguido pelo tratamento 3 que apresentou resultados superiores ao tratamento 1.

Para a altura de corte, o tratamento 1 obteve o melhor resultado seguido pelo tratamento 3 e por último o tratamento 2 que apresentou mais de 60% acima de 5 cm. Os danos a soqueira, situação semelhante à altura de corte ocorreu, sendo o tratamento 1 melhor que o tratamento 3 e esse por sua vez melhor que o tratamento 2.

O abalo de soqueira de todas as máquinas atingiram níveis iguais.

1.12. Referências.

BELARDO, G. de C. **Avaliação de desempenho efetivo em três colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BELARDO G. C.; ROSA J. H. M. MAGALHÃES P. S. G. Evolução da colheita mecanizada na cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

CARDOSO, G.B.C. **Aplicação de dessecante na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para colheita mecanizada**. 2011. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciências. Área de concentração: Máquinas agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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

CASE IH. Colhedoras de cana – **Série A8800 MR. Folheto**. Disponível em: http://www.caseih.com/brazil/Products/Colhedoras-e-Colheitadeiras/A8000-e-A8800/Documents/Folheto_A8800MR.pdf.

CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Avaliação da colheita mecanizada – Avaliação da qualidade do corte de base**. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. *Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

CONAB. **Companhia nacional de abastecimento** em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf Acesso em 10 jul. 2016.

JOHN DEERE. Colhedora de cana John Deere 3522: **Manual do operador**. 6. ed. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2012. 238 p.

MAZZONETTO, A.L. **Colheita integral de cana (*Saccharum spp.*) crua, análise de desempenho operacional**. 2004. 88 f. 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**, V.7, n.2, p.355-358, 2003.

MOLINA JUNIOR, W.F. **Proposta de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2000. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

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

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

NEVES J. L. M. Avaliação da colheita mecanizada – Determinação de impurezas minerais e vegetais. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

NEVES J. L. M. Avaliação da colheita mecanizada – Avaliação de perdas quantitativas na colheita de cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

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**, v.24, p.764-770, 2004.

RIPOLI, M.L.C. **Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para fins energéticos**. 2004. 213p. Tese (Doutorado em Agronomia. Área de concentração: Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

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.

ROSA, J.H.M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em espaçamento duplo alternado**. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013

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

TESTA, J. V. P. **Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para uma e duas linhas da cultura**. 2014. 43f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – UNESP, Botucatu, 2014.

TOLEDO, A.; FURLANI, C. E. A.; SILVA R. P.; Monitoramento de perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. In: SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; **Controle de Qualidade em operações agrícolas mecanizadas**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015 244p.

VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P.; ZERBATO. C.; SILVA, V. F. A.; CAVICHIOLI, F. A. Agronomic capability of mechanized sugarcane planting. **Australian Journal of Crop Science**, v.8, n.10, 2014, p. 1448 – 1460.

CAPÍTULO 4 – DESEMPENHO DE DUAS COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ESPAÇAMENTO DUPLO ALTERNADO EM DUAS CONDIÇÕES DE CANAVIAIS

RESUMO: Ensaios padronizados de colhedoras de cana-de-açúcar devem e vem sendo cada vez mais adotados pelas Usinas para tomada de decisão de compras de máquinas. Com relação aos espaçamentos entre fileiras adotados na cultura de cana-de-açúcar no Brasil, o espaçamento duplo alternado (0,90 m x 1,50 m) já representa de 20 a 25% da área plantada na atualidade. O setor sucroenergético vem buscando incessantemente alcançar médias de produtividade acima de três dígitos e quando conseguem se deparam com situações de canaviais difíceis sob a óptica de colheita, uma vez que a massa de cana a ser colhida é grande, além da possibilidade de tombamento do canavial. Neste sentido, objetivou-se neste trabalho avaliar o desempenho de duas colhedoras de cana em espaçamento duplo alternado, em duas condições de canaviais (ereto e deitado). O levantamento dos dados foi realizado em uma Usina Sucroenergética localizada em Clementina, SP durante a safra 2015/2016. Foram realizados quatro tratamentos com cinco repetições sendo eles: Colhedora John Deere modelo 3522 em canavial deitado (T1), Colhedora Case IH A8800 MR em canavial deitado (T2), Colhedora John Deere modelo 3522 em canavial ereto (T3), e Colhedora Case IH A8800 MR em canavial ereto (T4). Os indicadores de desempenho e qualidade avaliados durante a colheita foram: capacidade de campo; qualidade de matéria-prima colhida: impurezas e perdas, qualidade do corte de base e qualidade de corte do picador e consumo de combustível. Ficou comprovado que a capacidade de campo foi igual para as máquinas apesar da maior produtividade dos canaviais deitados, pois a velocidade de colheita foi maior em canavial ereto. A qualidade de matéria-prima colhida foi semelhante entre os tratamentos, porém, o nível de perdas foi superior assim como os danos na soqueira para os tratamentos em canavial deitado (T1 e T2). O consumo de combustível por sua vez foi semelhante para todos os tratamentos.

PALAVRAS-CHAVE: colheita de cana-de-açúcar, mecanização agrícola, desempenho efetivo, controle de qualidade de processos, perdas.

CHAPTER 4 – HARVESTERS PERFORMANCE EVALUATION OF SUGAR CANE HARVESTER IN DOUBLE ALTERNATE ROW SPACING

ABSTRACT: The assessment of operational harvesting performance should and is being increasingly adopted by sugar cane mills for making machine purchase decision. Regarding row spacing's adopted for sugarcane in Brazil, double alternated spacing (0.90 m x 1.50 m) already represents 20 to 25 % of the current planted area. The sugarcane industry has sought relentlessly to achieve average productivity above three digits and when they can face situations difficult sugarcane fields from the perspective of crop, since the mass of cane to be harvested is great, and the possibility of overturning the cane field. In this sense, the objective of this study was to evaluate two Cane Harvesters that enable the harvesting of such spacing through a performance assessment. The trial was conducted in a production unit in Clementina, SP during the 2015/2016 harvest season. There were performed five repetitions for each treatment and these treatments were: John Deere 3522 in lodge cane (T1), Case IH A8800 MR in lodge cane (T2), John Deere 3522 erect cane (T3) and Case IH A8800 MR in erect cane (T4).

Performance indicators and quality assessed during the harvest sugarcane were: harvesting capacity; harvesting quality; losses; base cutter and chopper quality and fuel consumption. After data analysis statistically it has been proven that the harvesting capacity were equal on lodge and erect cane, due to the higher harvesting speed on erect cane. The harvesting quality were similar to all treatments but the losses and ratoon damages were higher for the lodge cane (T1 and T2). The fuel consumption in tons per hour was equal to all machines in all conditions.

KEYWORDS: sugarcane harvesting, agricultural mechanization, effective harvesting capacity, quality control charts, losses.

INTRODUÇÃO

Rosa (2013), avaliando uma colhedora em espaçamento duplo alternado concluiu que em análise comparativa com trabalhos que tratam do desempenho de colhedoras em espaçamento simples, foi possível verificar que a capacidade de colheita da máquina e, considerando-se a mesma faixa de velocidade, foi muito maior no espaçamento duplo alternado. Esse aumento significativo se deu em função da colheita simultânea de duas fileiras e da alta produtividade agrícola do canavial, em termos de consumo de combustível, apesar do consumo horário ser superior, dado maior exigência da máquina pela alta produção, os valores por tonelada colhida no espaçamento duplo alternado foram praticamente a metade daqueles verificados para espaçamento simples, a respeito da qualidade da operação de colheita, os valores relacionados à matéria estranha ficaram dentro dos limites aceitáveis.

Os indicadores de perdas, entretanto, se mostraram mais elevados, em torno de $7,0 \text{ t ha}^{-1}$, quando comparados a resultados de outros trabalhos no espaçamento simples, que apresentam resultados dispersos, mas no geral, abaixo de $5,0 \text{ t ha}^{-1}$. A relação com a alta produtividade agrícola, contudo, acaba por suavizar as perdas, fazendo com que os valores sob a perspectiva percentual se aproximem mais dos outros trabalhos. Ainda assim, pode-se dizer que as perdas se mostram um gargalo para a colheita no espaçamento duplo alternado, dentre os tipos de perdas, chama-se atenção para a classificação “tocos na soqueira”, respondendo, em média, por cerca de 40% do total de perdas entre as repetições (ROSA, 2013).

O presente capítulo tem por objetivo avaliar o desempenho de colhedoras de cana em duas situações de canaviais de espaçamento duplo alternado. Sendo assim buscou-se avaliar duas máquinas em canavial de primeiro corte, sendo um canavial ereto, melhor situação possível para a colheita mecânica e um canavial deitado, pior situação para a colheita mecanizada, e analisar o impacto e resultado nos índices de colheita nessas situações.

MATERIAL E MÉTODOS

O material e métodos foram os mesmos já demonstrados no capítulo 2 dessa tese, sendo avaliados as seguintes variáveis: produtividade agrícola, velocidade de colheita, capacidade de campo efetiva bruta e líquida, eficácia de manipulação, matéria estranha mineral e vegetal, perdas totais e subdivididas e consumo de combustível, qualidade do corte de base e índice de abalo de soqueira e qualidade de corte do rolo picador e índice de cisalhamento de rebolos.

A variedade colhida foi a CTC 4, em canavial de primeiro corte.

Os tratamentos foram relacionados à diferença entre as máquinas e ao porte do canavial utilizado no ensaio e possuíam as seguintes características:

1. Tratamento 1 – Colhedora John Deere 3522 no espaçamento duplo alternado:

Motor 6090T PowerTech (Tier II), com 9 litros, de 279 kW (380 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema Field Cruise, de controle de rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m. A colhedora possui o sistema automático de direcionamento via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador. Também possuía o sistema de controle integrado de corte de base CICB. O porte do canavial foi classificado deitado.

2. Tratamento 2 – Colhedora Case IH A8800 Multi-row no espaçamento duplo alternado:

Motor FPT C9 (Tier III) de 6 cilindros de 9 litros, de 260 kW (358 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema Smart Cruise, de controle de rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m. A colhedora possui o sistema automático de direcionamento via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador. Também possuía o kit de rolos alimentadores no divisor de linhas e sistema autofloating de controle automático de corte de base. O porte do canavial foi classificado deitado.

3. Tratamento 3 – Colhedora John Deere 3522 no espaçamento duplo alternado:

Motor 6090T PowerTech (Tier II), com 9 litros, de 279 kW (380 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema *Field Cruise*, de controle de

rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m. A colhedora possui o sistema automático de direcionamento via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador. Também possuía o sistema de controle integrado de corte de base CICB. **O porte do canavial foi classificado ereto.**

4. Tratamento 4 – Colhedora Case IH A8800 Multi-row no espaçamento duplo alternado: Motor FPT C9 (Tier III) de 6 cilindros de 9 litros, de 260 kW (358 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema Smart Cruise, de controle de rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m. A colhedora possui o sistema automático de direcionamento via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador. Também possuía o kit de rolos alimentadores no divisor de linha e sistema autofloating de controle automático de corte de base. O porte do canavial foi classificado ereto.

Os sistemas de corte das colhedoras utilizadas são apresentados na Figura 47, enquanto que na Figura 48 são mostrados os portes dos canaviais avaliados.



(a)



(b)

Figura 47. Diferença entre os cortes de base das máquinas John Deere (a) e Case IH (b).

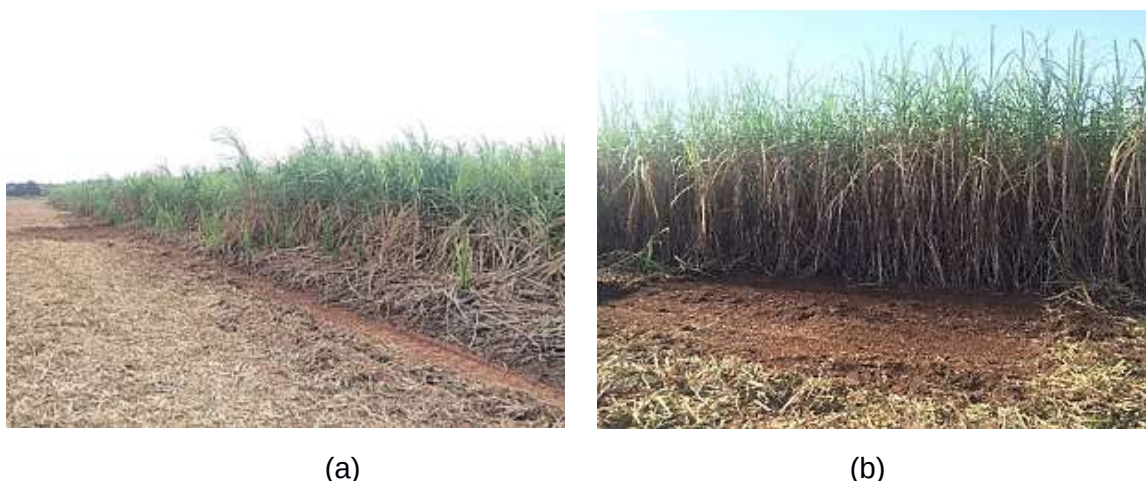


Figura 48. Diferença entre o porte do canavial deitado (a) e ereto (b).

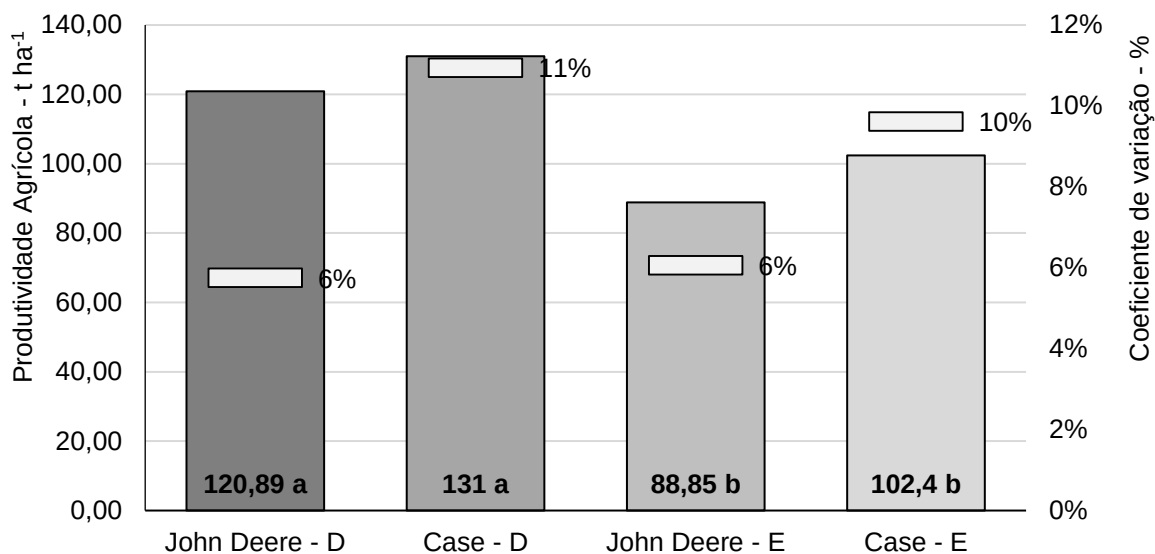
Foi utilizado o delineamento estatístico inteiramente causalizado, com quatro tratamentos e cinco repetições para cada um deles, sendo as repetições (“tiros”) realizadas na máxima velocidade de deslocamento (respeitando-se o limite máximo de $6,0 \text{ km h}^{-1}$ pré-determinado pela Usina), totalizando 20 determinações no ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Condições do ensaio.

1.1. Produtividade agrícola.

A produtividade agrícola média da área 1 foi de $125,95 \text{ t ha}^{-1}$ e da área 2 foi de $95,63 \text{ t ha}^{-1}$ ambas em canavial de primeiro corte, considerada muito boa para a área 1 (canavial deitado) e boa para a área 2 (canavial ereto) uma vez que a média brasileira na safra 2015/2016 foi de $76,91 \text{ t ha}^{-1}$ (CONAB, 2016). Houve diferença entre os canaviais deitado e ereto (Figura 49), porém, dentro dos canaviais de mesmo porte não houve diferença, o que significa que as máquinas trabalharam em condições semelhantes, tanto no canavial deitado quanto, posteriormente, no canavial ereto. Estes resultados garantem que a avaliação do desempenho das colhedoras foi realizada em condições de igualdade (nas duas situações de canaviais), minimizando o efeito do ambiente de produção sobre as variáveis avaliadas.

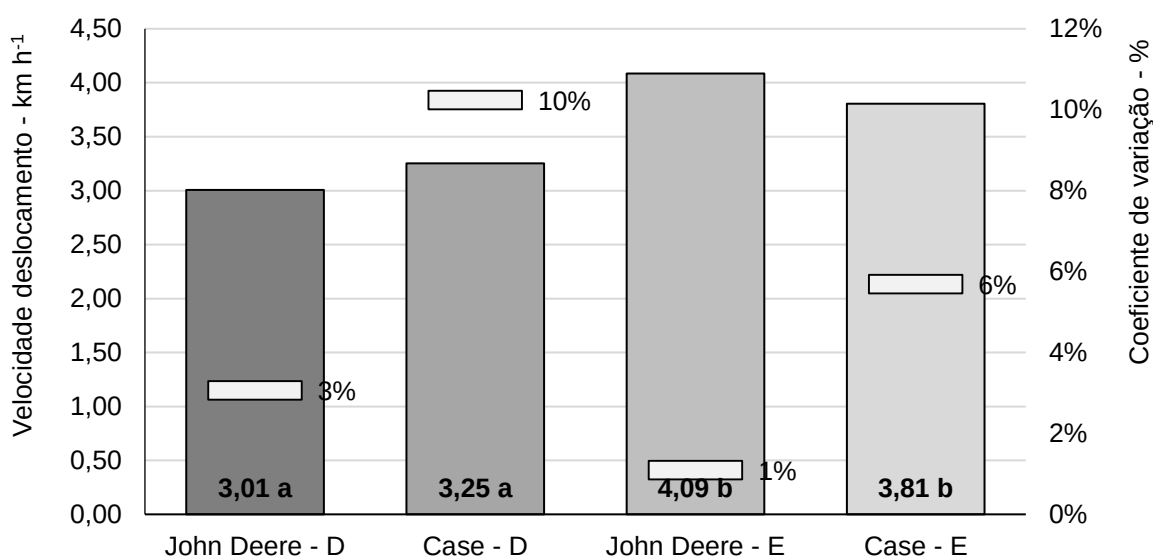


Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 Multi-row em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 Multi-row em canavial ereto.

Figura 49. Produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.2. Velocidade de colheita.

A velocidade de descolamento das colhedoras está relacionada diretamente à produtividade agrícola, devido à quantidade de material a ser colhido e à capacidade de alimentação e processamento das máquinas. No caso desse ensaio, podemos observar que as máquinas obtiveram menor velocidade média de deslocamento na área 1 por ter maior produtividade e porte deitado, e que não tiveram diferença entre elas nessa situação. Já na área 2 observamos que as velocidades de colheita ficaram aproximadamente $1,0\ km\ h^{-1}$ superiores, relacionado à menor produtividade do canavial e ao porte ereto que facilitam o deslocamento da colhedora e que não apresentaram diferença entre as máquinas nessa área (Figura 50).



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 Multi-row em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 Multi-row em canavial ereto.

Figura 50. Velocidade de deslocamento (km h⁻¹): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

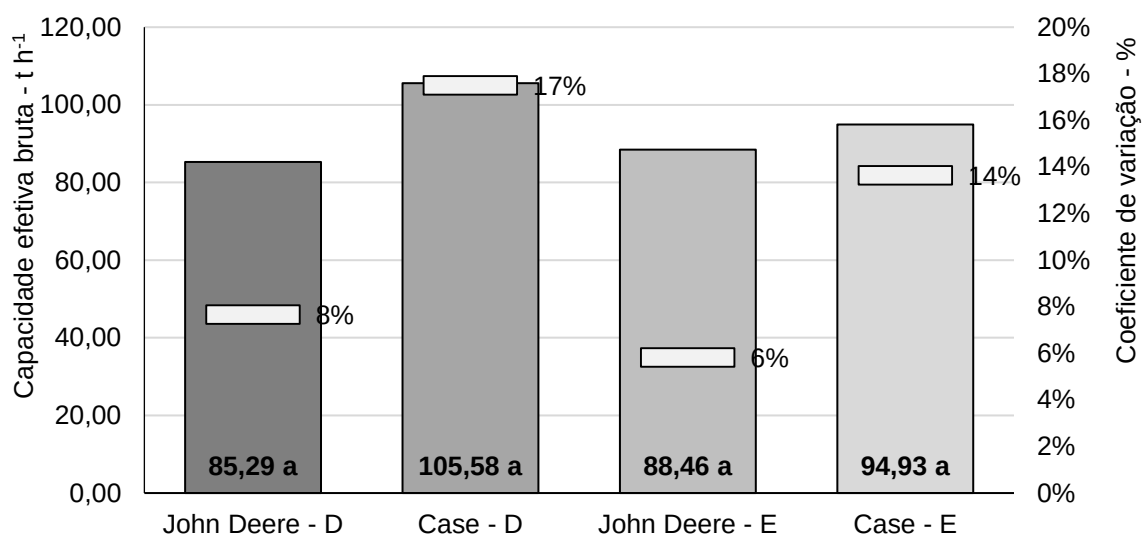
Vale ressaltar que as velocidades se mantiveram dentro dos padrões aceitáveis para essa Usina, que determina o máximo de 6,0 km h⁻¹. A diferença para a velocidade média entre os tratamentos (porte ereto e porte acamado) se deve à maior facilidade de ação das colhedoras quando da existência de canaviais com porte ereto (SILVA et al., 2008).

1.3. Capacidade efetiva de colheita.

1.3.1. Capacidade efetiva bruta e líquida de colheita.

Observa-se que apesar da diferença entre a produtividade dos canaviais deitados e ereto existirem, quando analisamos a capacidade efetiva bruta de colheita não houve diferença entre os tratamentos que mostraram resultados aceitáveis, acima de 85,0 t h⁻¹ quando comparados com trabalhos recentes de Testa (2014), Rosa (2013), Schimdt Junior (2011), Cardoso (2011), Belardo (2010). O resultado das

máquinas em canavial ereto igualou-se ao resultado das máquinas em canavial deitado devido à velocidade de descolamento que permitiu que as máquinas obtivessem uma performance igual apesar das diferenças absolutas de até 20,0 t h⁻¹ de produtividade (Figura 51).



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

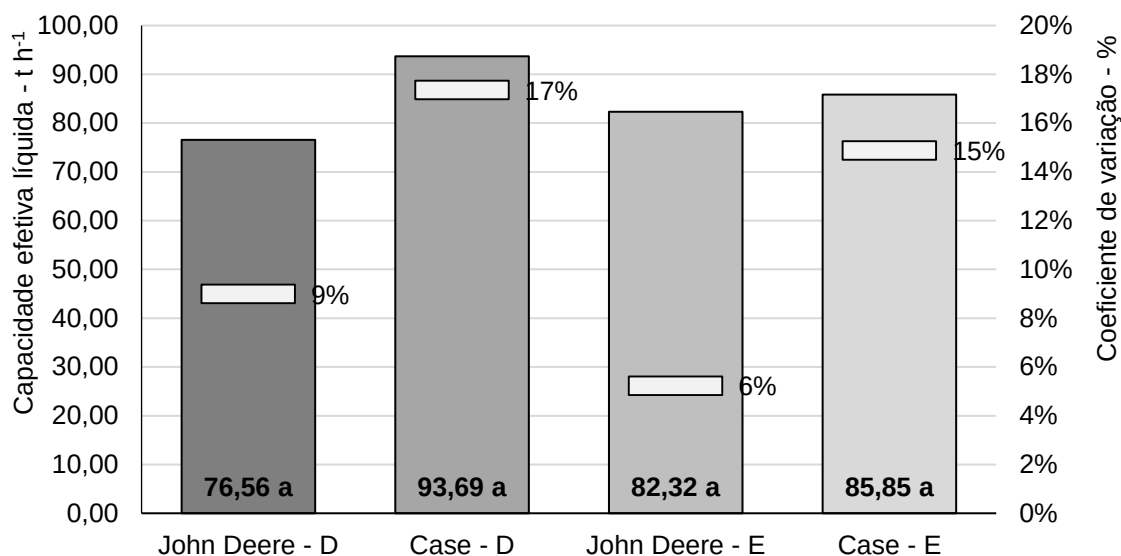
Figura 51. Capacidade de colheita bruta (t h⁻¹): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

É possível afirmar que a velocidade de deslocamento e produtividade do canavial tem relação direta com a capacidade efetiva bruta e líquida de colheita, como já demonstrado por Banchi et al. (2012) que analisando o banco de dados de diversas Usinas conseguiu gerar uma equação que demonstra essa relação.

Com a capacidade efetiva líquida de colheita, observamos a mesma característica obtida na capacidade efetiva bruta, em que não houve diferença entre as máquinas em canavial ereto e deitado (Figura 52) e, portanto, podemos afirmar que as máquinas foram iguais em todos os tratamentos.

Isso comprova que apesar da capacidade de processamento das colhedoras de cana, muitas vezes a situação do canavial adversa, faz com que as capacidades

efetivas máximas das máquinas não sejam atingidas relacionado à dificuldade de alimentação do material colhido para ser processado pela colhedora.



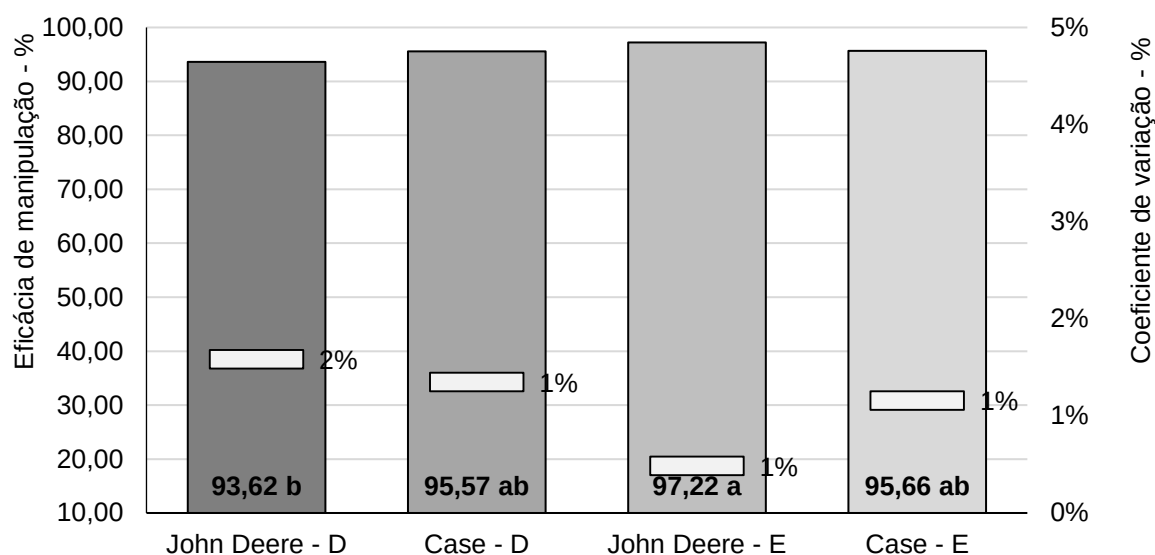
Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 52. Capacidade de colheita líquida – t h⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.4. Eficácia de manipulação.

Com relação à eficácia de manipulação, apesar de todos os tratamentos terem obtido resultados muito bons segundo Belardo et al. (2015) e Ripoli e Ripoli (2009), acima de 94% (Figura 53), quando se realizou a análise estatística, houve diferença entre os dois tratamentos da máquina John Deere, salientando que o desempenho da máquina foi melhor no canavial ereto. Já a máquina Case não mostrou diferença entre os tipos de canavial, sendo mais “estável” quando analisamos essa variável. Também não foram encontradas diferenças entre a colhedora Case e a colhedora John Deere nas duas condições de canavial. Esse comportamento está diretamente relacionado à capacidade de limpeza e índice de perdas das colhedoras, sendo que na máquina

John Deere fica evidenciado que na área deitada o desempenho foi pior estando relacionado ao maior nível de perdas nessa situação de canavial.



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 Multi-row em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 Multi-row em canavial ereto.

Figura 53. Eficácia de manipulação – %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

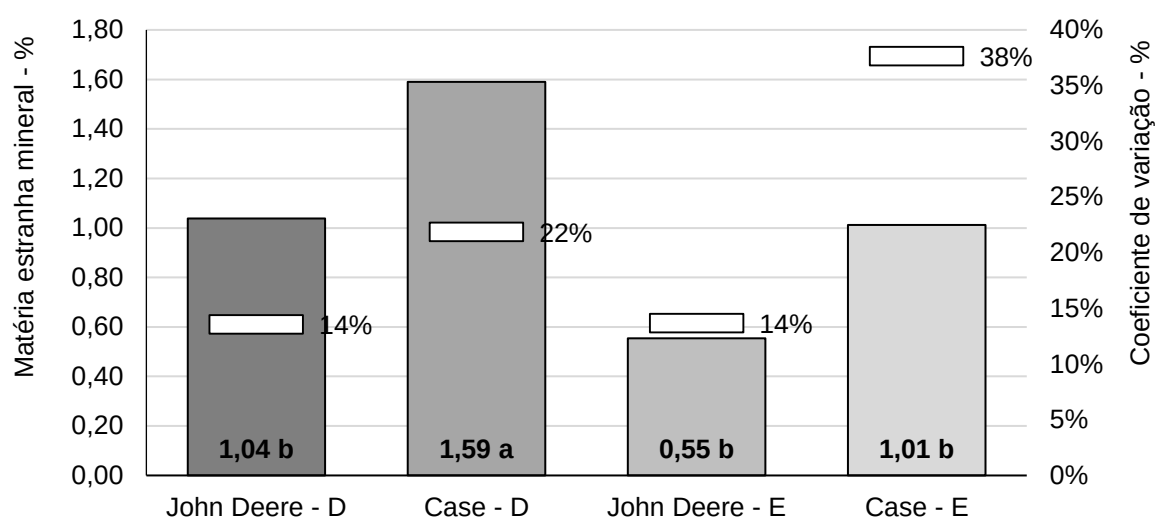
1.5. Qualidade de colheita.

A qualidade de matéria-prima colhida apresentou diferença entre os tratamentos. Nota-se que a matéria estranha mineral foi elevada em três tratamentos e que a matéria estranha vegetal se manteve em níveis aceitáveis em todos (Figuras 54 e 55).

1.5.1. Matéria estranha mineral.

A matéria estranha mineral, mostrou-se elevada para a colhedora Case IH em canavial deitado, com índices acima de 1,5% e com diferença estatística entre esse e os demais tratamentos. Com relação a máquina John Deere, essa apresentou um índice de matéria estranha mineral baixo para o tratamento ereto em termos

absolutos, mas iguais estatisticamente quando comparados com a John Deere em canavial deitado e a Case IH em canavial ereto, sendo que esses dois tratamentos se mantiveram próximos dos níveis máximos permitidos e um acima dele que segundo Belardo et al. (2015) é de 1%. Se analisado por Neves (2015a), três tratamentos estariam acima dos níveis máximos permitidos de 0,6%, sendo que apenas a máquina John Deere em canavial ereto estaria com números bons.



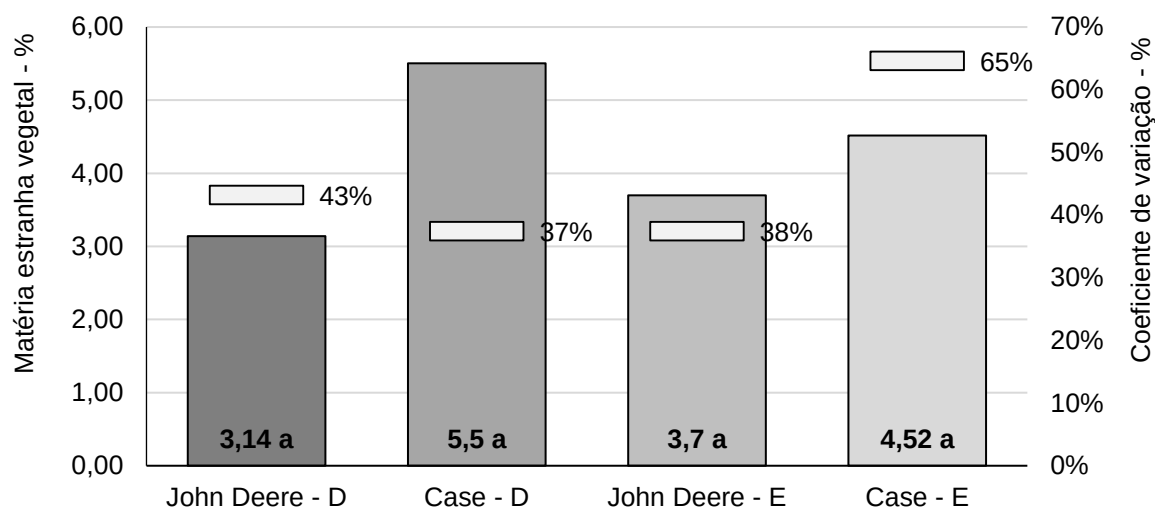
Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 54. Matéria estranha mineral - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.5.2. Matéria estranha vegetal.

Com relação à matéria estranha vegetal, não houve diferença entre as máquinas nas duas situações do canavial. Os índices da máquina John Deere foram considerados muito bons, com valores absolutos abaixo de 4%, enquanto que a máquina Case IH, obteve resultados sem diferença da John Deere, mas com valores absolutos entre 4,0 e 6,0% que segundo o CTC (Centro de tecnologia canavieiro) citado por Neves (2015a) é considerado índice de matéria estranha medianas. Para Ripoli e Ripoli (2009) o valor ideal para colheita de cana crua está abaixo de 8,0% e

para Belardo et al. (2015) abaixo de 6%, portanto, nesse caso, todas as máquinas estariam com resultados satisfatórios apesar do alto índice dos coeficientes de variação (Figura 55).

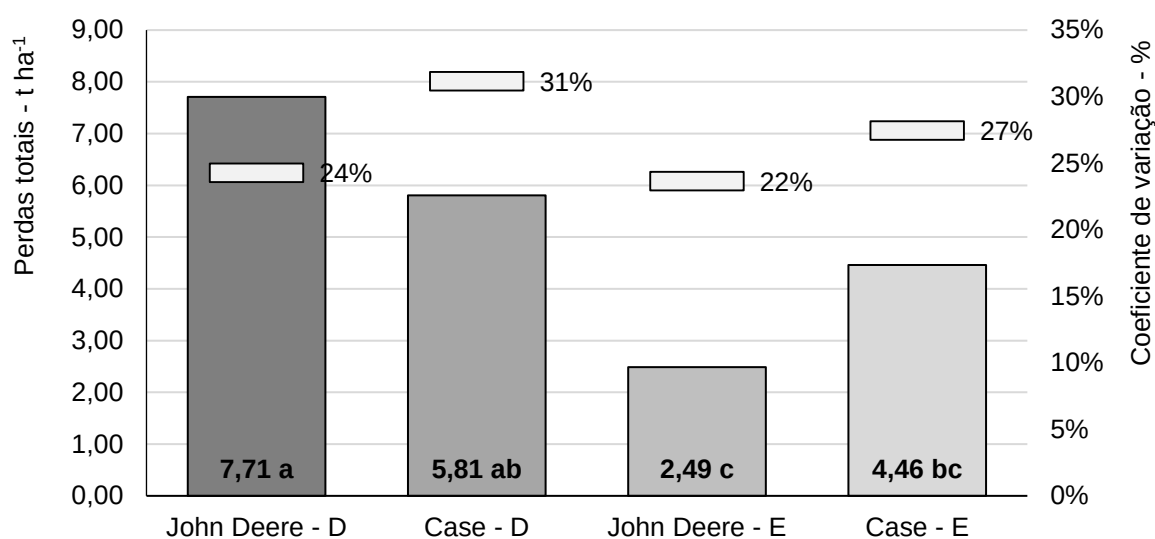


Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 55. Matéria estranha vegetal - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.6. Perdas.

O parâmetro perdas, um dos principais dentro da colheita e com maior relevância na colheita de duas fileiras, mostrou grande variação entre os tratamentos sendo que o pior deles em termos absolutos foi o da máquina John Deere em canavial deitado que apresentou diferença dos tratamentos eretos, mas não mostrou diferença entre a Case IH no mesmo canavial. A colhedora Case IH por sua vez não apresentou diferença entre os tipos de canaviais colhidos. A máquina que obteve melhor resultado foi a John Deere em canavial ereto que não obteve diferença entre a Case IH na mesma situação de canavial, mas que foi melhor que ambas as máquinas em canavial deitado (Figura 56).



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 56. Perdas totais – t ha⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

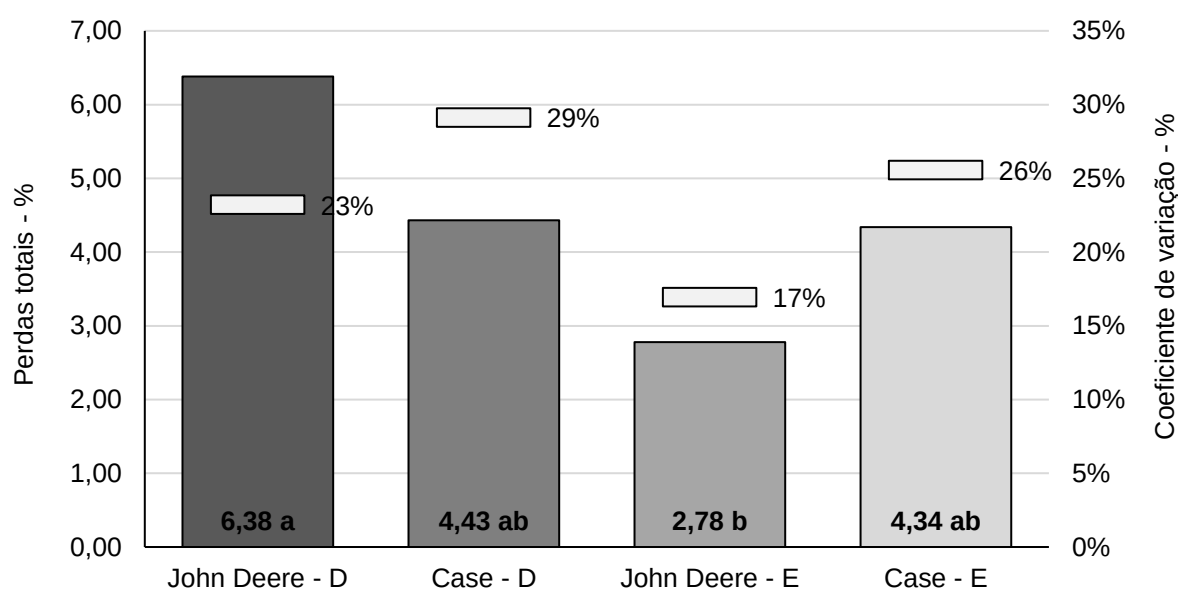
A colhedora John Deere, por sua vez foi a que mais diferença apresentou entre o canavial ereto e deitado, sendo que as perdas em canavial deitado foram de 5,2 t ha⁻¹ maior que na situação ideal de colheita, ereto.

A elevada produtividade agrícola (acima de 120,0 t ha⁻¹) associada ao tombamento e/ou entrelaçamento do canavial, pode reduzir a capacidade de trabalho das colhedoras, pois, há a necessidade de diminuir a velocidade de deslocamento para evitar o embuchamento (excesso de material vegetal nos órgãos ativos de funcionamento da colhedora, provocando a paralisação destes) e o aumento das perdas. O porte da planta é importante para que seja facilitado o corte basal, dos ponteiros e melhor limpeza, havendo com isso menor ocorrência de interrupções, diminuição das perdas e impurezas (RIPOLI E RIPOLI, 2009), conforme pudemos observar no presente trabalho.

Os valores das perdas em canavial deitado são praticamente o dobro dos encontrados nas principais pesquisas realizadas com a colheita de uma fileira, conforme trabalhos de Schimdt Junior (2011), Cardoso (2011), Belardo (2010), Ripoli

(2004), Mazonetto (2004), Nery (2000), porém o resultado em canavial ereto foi satisfatório.

Para as perdas totais, os únicos tratamentos que apresentaram diferença foram da máquina John Deere nos dois canaviais. Avaliando as perdas percentualmente segunda a metodologia proposta por Neves (2015b) citando o CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) o único tratamento que estaria acima do limite máximo de 4,5% seria a colhedora John Deere em canavial deitado. Todos os demais tratamentos estariam em níveis considerados médios e aceitáveis entre 2,5 a 4,5%. Segundo Belardo et al. (2015) todas as colhedoras estariam em níveis aceitáveis percentualmente, abaixo de 5%, com exceção da máquina John Deere na situação do canavial deitado (Figura 57).

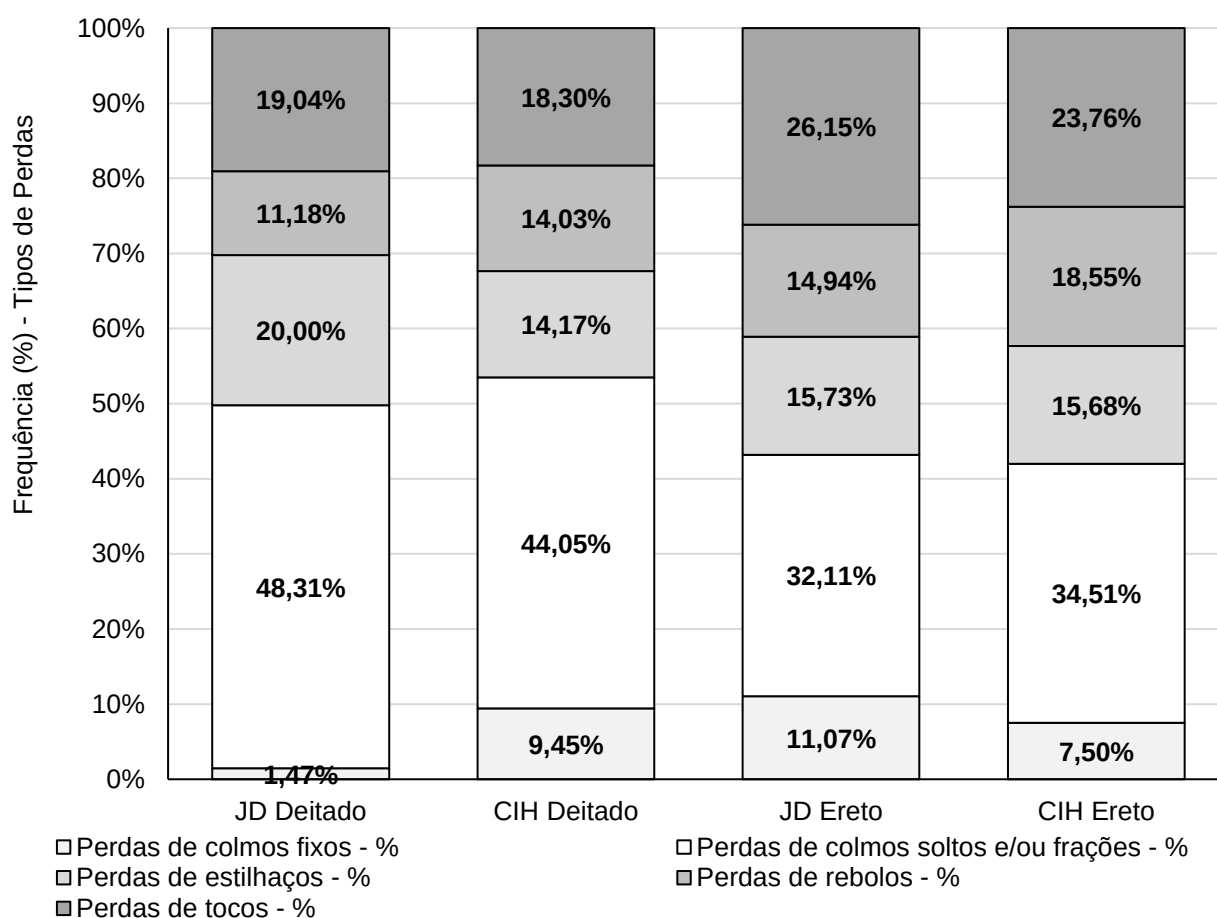


Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 57. Perdas totais – %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

A principal parcela de perda está relacionada à de pedaços soltos e suas frações que apresentou frequência maior no canavial deitado entre 44 e 48% (Figura

58). Esse índice pode estar relacionado ao porte do canavial, uma vez que em canaviais deitados e acamados esse nível de perda é maior, principalmente porque quando comparamos com o resultado do canavial ereto esse índice manteve-se entre 32 e 34%. No canavial ereto, por sua vez, apresentou perdas de tocos em maior concentração entre 23 e 26%.



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 58. Frequência de ocorrência de perdas subdividida pelo tipo de perda (%).

Outro fator que está diretamente relacionado às perdas é a velocidade dos extratores que fazem a limpeza da matéria-prima, pois na tentativa de diminuir os índices de matéria estranha na cana-de-açúcar colhida, o aumento da rotação dos extratores das colhedoras acaba elevando as perdas em níveis economicamente

inaceitáveis (RAMOS 2013) sendo que a perda que está relacionada com essas regulagens aparece em terceiro lugar percentualmente, pois os estilhaços são gerados na sua grande maioria durante a limpeza do extrator primário.

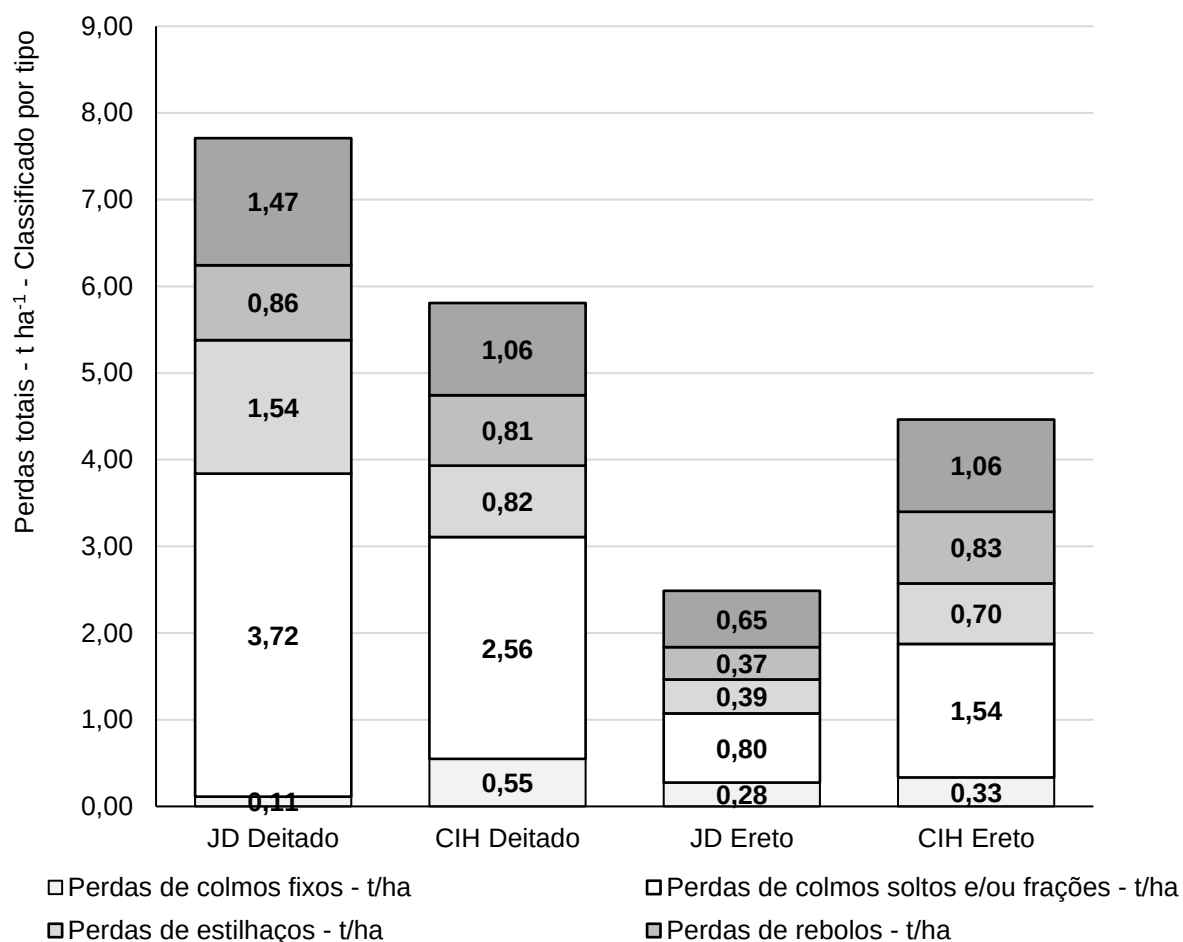
Já a perda de rebolos está relacionada com ao sincronismo entre a colhedora e transbordo, em outras palavras relacionada a uma falha operacional, pois conforme Magalhães et al. (2008) que desenvolveram um sistema de sincronismo de velocidade, com a finalidade de controlar a colhedora de cana-de-açúcar e o transbordo, a fim de evitar perdas com a cana-de-açúcar colhida, aumentar a capacidade operacional e melhorar a eficiência de campo do conjunto mecanizado, concluíram que com o sistema de sincronismo ativado, as perdas de cana-de-açúcar diminuíram em torno de $0,6 \text{ t ha}^{-1}$, o equivalente a 8,16%, na redução de perdas de rebolos, quando comparado ao sistema de sincronismo desativado.

Fica evidente que as perdas totais, as perdas de tocos, perdas de colmos fixos e perdas de pedaços soltos e suas frações são o maior gargalo na colheita de duas fileiras (Figura 58). Sendo assim, ações preliminares à colheita são extremamente importantes e relevantes para minimizar esse tipo de perdas, como as operações de planejamento da área, o preparo de solo, plantio e tratos culturais sempre focados no impacto que isso terá na colheita.

Oliveira (2003) afirma que as contaminações e perdas que ocorrem durante a colheita de cana-de-açúcar são ligadas diretamente ao acompanhamento inadequado do micro relevo do solo e da varredura ineficiente realizada pelo corte de base.

Somente com o comprometimento e entendimento da relevância dessas etapas preliminares e impactos que têm sobre a colheita mecanizada consegue-se minimizar as perdas e atingir resultados satisfatórios na adoção de sistema de colheita de multifileiras.

Fazendo a mesma avaliação em t ha^{-1} também nota-se o mesmo comportamento de concentração de perdas de colmos soltos e suas frações e tocos de soqueira, seguidos de estilhaços (Figura 59).



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

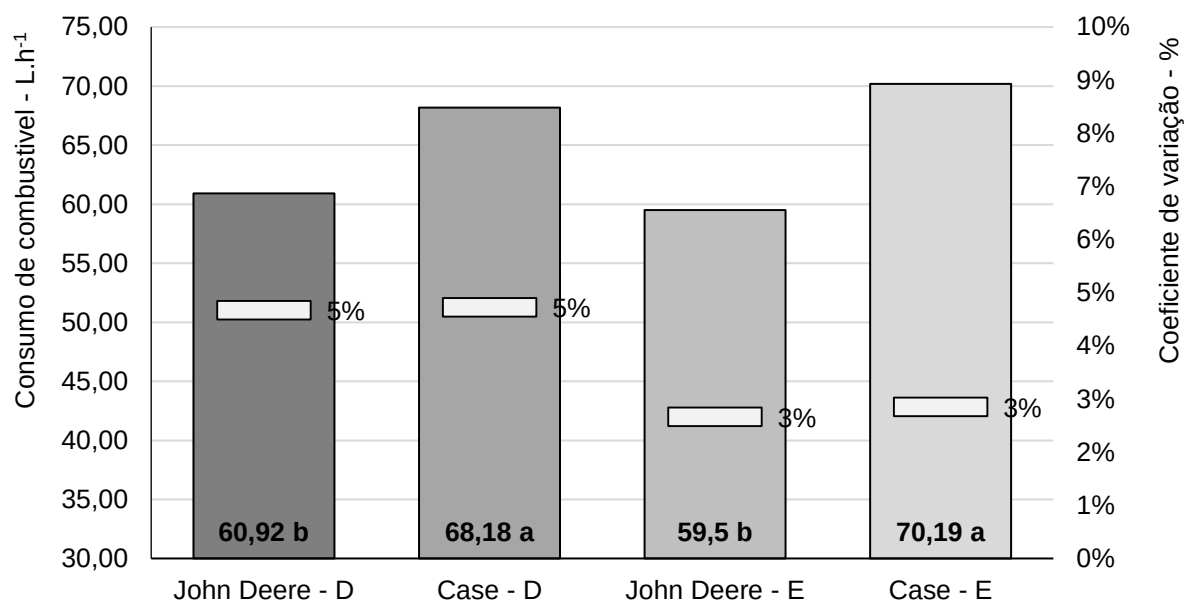
Figura 59. Perdas totais (t ha⁻¹): participação relativa por tipo (colmos soltos e/ou frações, estilhaços, rebolos e tocos).

1.7. Consumo de combustível.

1.7.1. Consumo horário de combustível.

Conforme observamos na Figura 60, houve grande variação de consumo de combustível específico e a máquina Case IH consumiu 15% a mais em L h⁻¹ sendo que a máquina John Deere apresentou diferença estatística com relação a colhedora Case IH em ambas situações de canaviais. Para uma análise detalhada do consumo

de combustível e correta tomada de decisão é fundamental o controle do consumo calculado por tonelada de cana colhida.

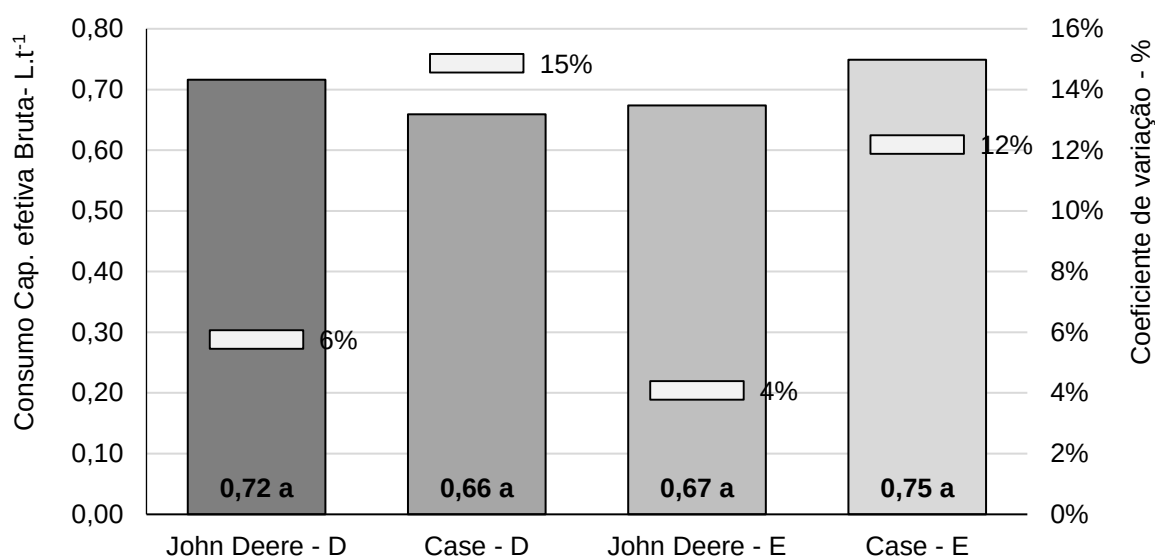


Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 60. Consumo de combustível (L h⁻¹): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.7.2. Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta e líquida.

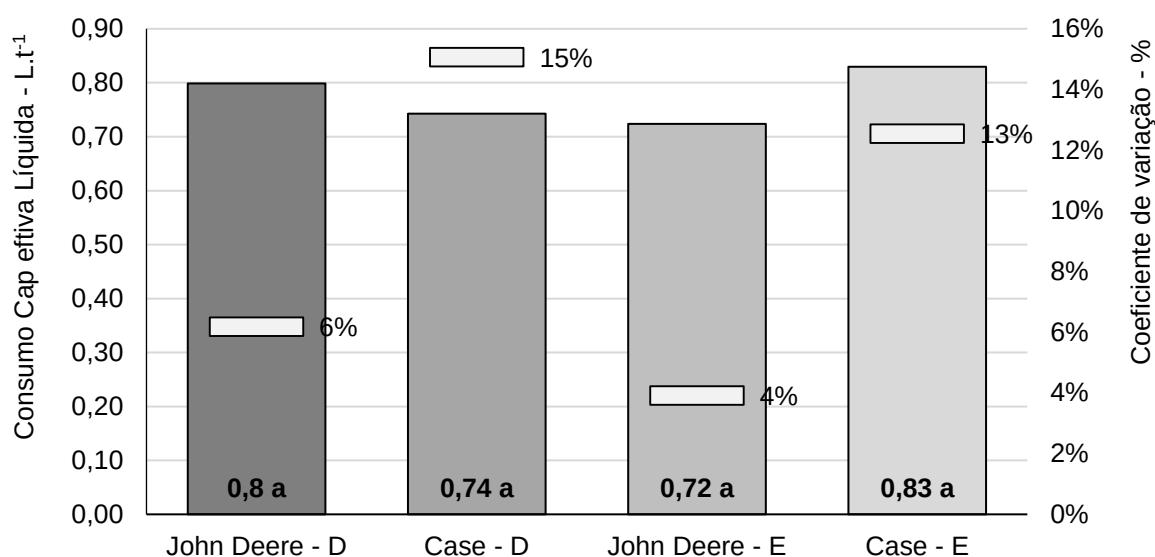
Na Figura 61 observa-se o consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima e percebemos que quando a avaliação é realizada em L t⁻¹, a diferença estatística que existia entre os tratamentos em L h⁻¹ deixa de existir e todos se igualam. Sendo essa a melhor opção de análise de consumo, uma vez que as avaliações dos índices de colheita devem sempre ser consideradas em toneladas e que o produto entregue na usina e o custo é calculado sobre ele.



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 61. Consumo de combustível na Capacidade efetiva Bruta – L t⁻¹: comparativo entre médias dos tratamento e coeficientes de variação (%).

O consumo na capacidade efetiva líquida, também não apresentou diferença entre os tratamentos, com consumos entre 0,72 e 0,83 L t⁻¹ (Figura 62). É importante salientar que nesse cálculo descontam-se as perdas e matéria estranha do material colhido, ou seja, consideram-se somente os colmos industrializáveis entregues na indústria e que seguiram a mesma tendência do consumo na capacidade efetiva bruta.



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 62. Consumo de combustível na capacidade efetiva Líquida – L t⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.8. Avaliação do corte basal.

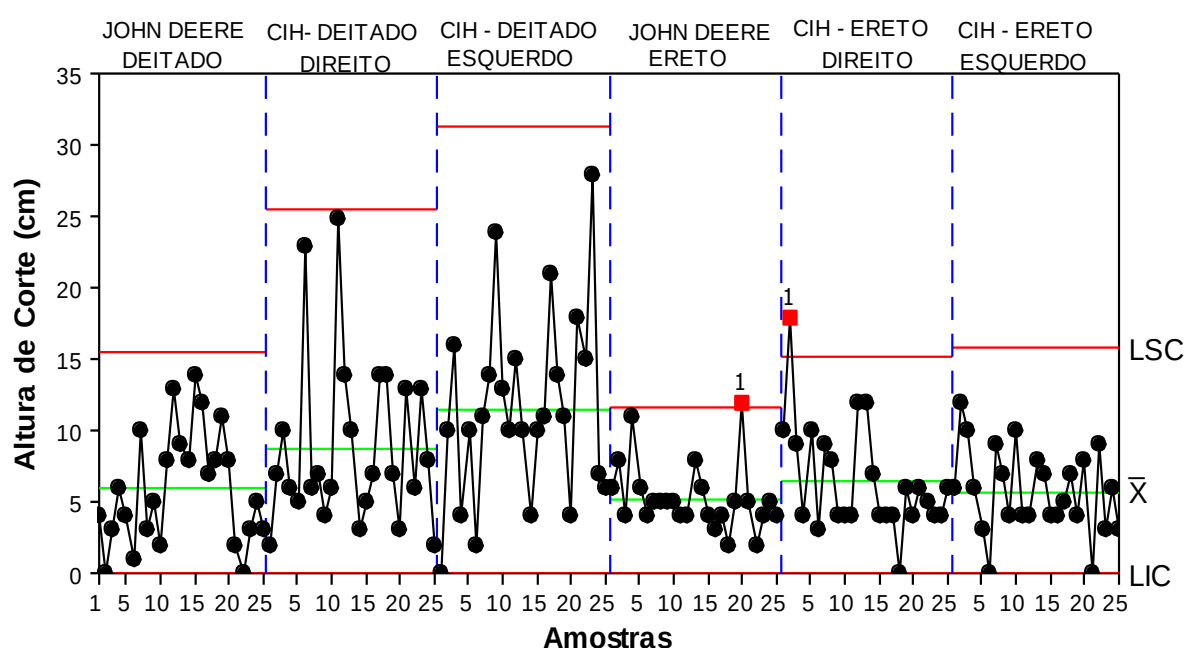
A avaliação da qualidade do corte de base de colhedoras de cana é fundamental para o entendimento de alguns índices de perdas e de desgaste de máquinas que afetam diretamente no custo de produção, seja ele por meio de perdas de matéria-prima no campo ou em custo de paradas e reparo e manutenção das máquinas.

Toledo et al. (2015), afirmam que a mecanização das áreas de produção e a preocupação com a qualidade e longevidade dos canaviais deve ser ressaltada, pois estima-se que a colheita mecanizada proporcione maiores danos principalmente devido ao sistema de corte e pisoteio de soqueiras.

1.8.1. Altura de corte.

Quando se analisa a altura de corte por meio da carta de controle estatístico, observa-se que essa operação está sob controle, pois apresentou apenas dois pontos

acima do limite superior de controle. Nota-se uma característica de altura média de corte melhor para a máquina John Deere que manteve 5 cm em canavial ereto e 6 cm em canavial deitado. Já a máquina Case IH, por sua vez obteve índices bons em canavial ereto, entre 6 e 7 cm e um pouco mais elevados em canavial deitado, entre 9 e 11 cm (Figura 63).

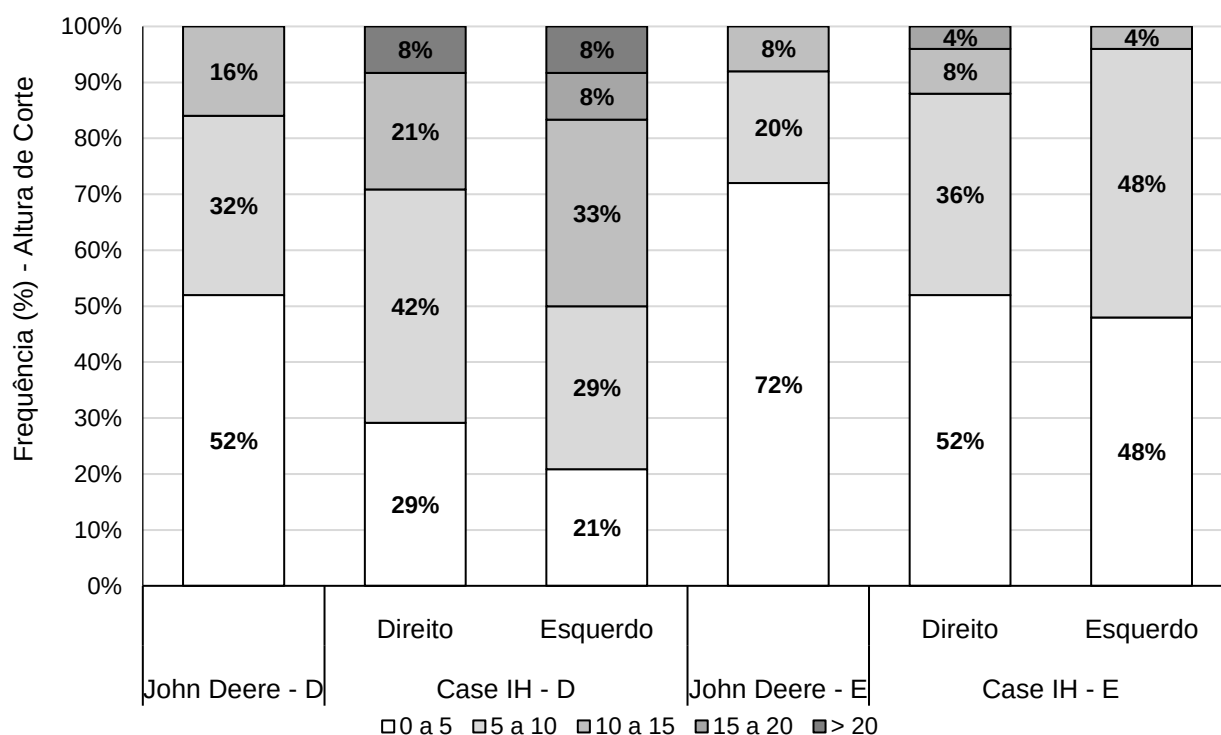


Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 63. Altura de corte - cm: carta de controle por tratamento

A frequência da altura de corte da máquina John Deere, se manteve entre 84 e 92% até 10 cm de altura e não ultrapassou o limite máximo de 15 cm, enquanto a máquina Case IH em canavial ereto atingiu um resultado muito bom com 96% até 10 cm para o disco do corte de base do lado direito e 88% para o lado esquerdo. Já no canavial deitado, esse índice piorou consideravelmente atingindo 8% das amostragens acima de 20 cm e apenas 71% e 50% até 10 cm nos discos de corte do lado esquerdo e direito respectivamente (Figura 64). No geral considera-se que até 10 cm de altura o controle foi consideravelmente maior em canavial ereto quando

comparado com canavial deitado, mostrando que o porte do canavial tem influência direta na falta de controle desse processo.



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

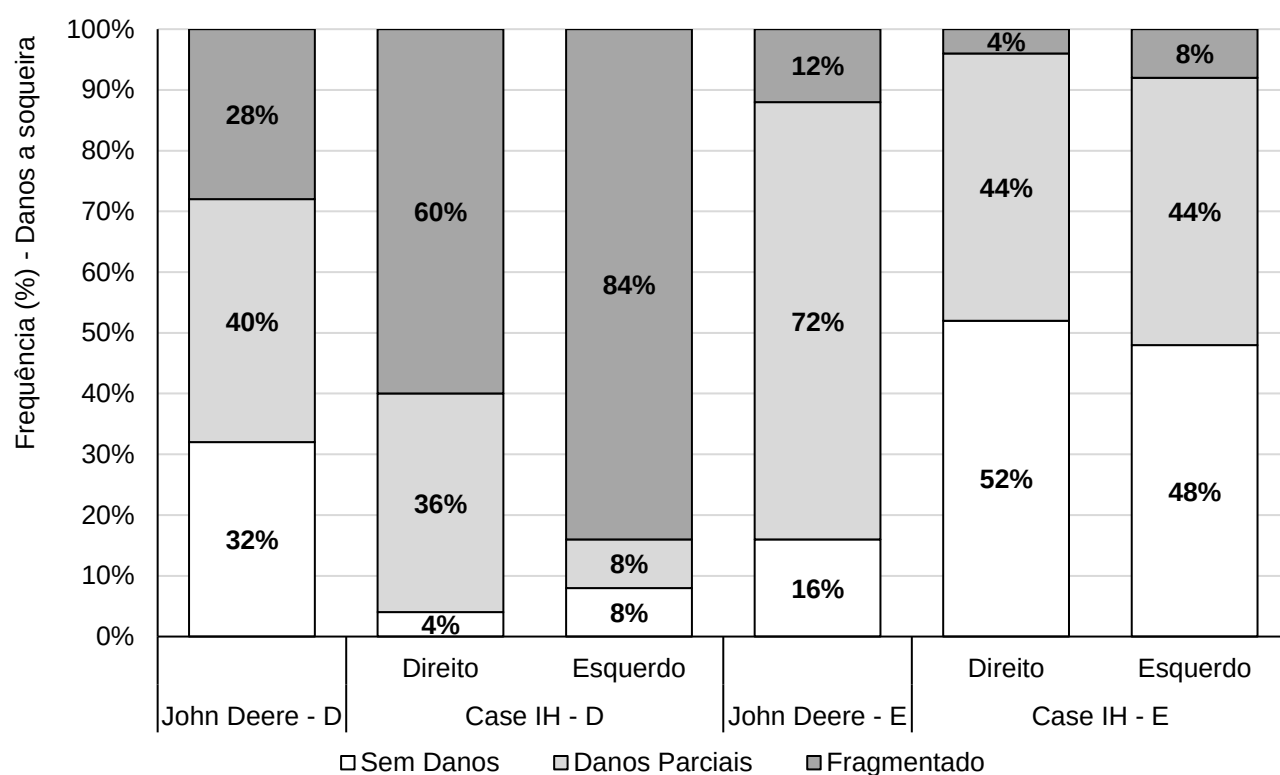
Figura 64. Altura de corte - cm: frequência por tratamento.

Conforme Ripoli e Ripoli (2009), a variação da altura de corte, e a falta de manutenção das lâminas do corte de base, podem influenciar negativamente a quantidade de tocos rachados e mal cisalhados, aumentando as perdas visíveis e invisíveis.

Após considerar quesitos agrônômicos e operacionais, por meio da técnica de brainstorm, Toledo et al. (2015), afirmam que a altura de corte e os danos causados aos colmos das soqueiras são os principais indicadores de qualidade de processos.

1.8.2. Danos à soqueira.

Quando se avaliou os danos na soqueira em canavial ereto, observa-se que a máquina Case IH conseguiu atingir os melhores níveis com apenas 4% e 8% com soqueiras fragmentadas para o disco de corte do lado direito e esquerdo, 44% com danos parciais e 52% e 48% sem danos, respectivamente. A máquina John Deere na mesma situação atingiu 16% sem danos, 72% com danos parciais e 12% com fragmentos.



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

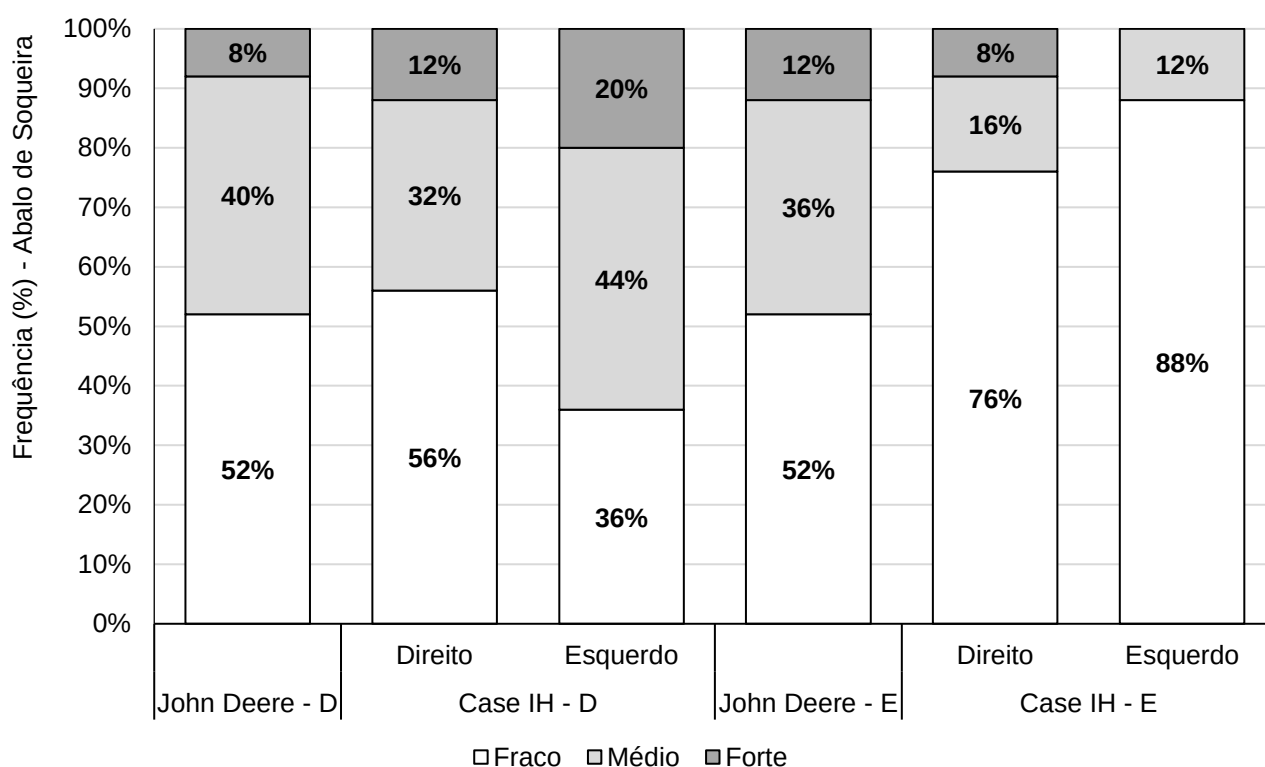
Figura 65. Danos à soqueira: frequência por tratamento.

Já quando se avalia as máquinas em canavial deitado, o impacto dos discos de corte da Case IH são piores com elevado índice de soqueira fragmentadas acima de 60% e com baixo índice de soqueira sem danos abaixo de 8%. Já a máquina John Deere apesar de ter aumentado as soqueiras fragmentadas atingindo 28% das

amostragens, conseguiu melhorar o nível de soqueiras sem danos para 32% e com danos parciais para 40% (Figura 65).

1.8.3. Abalo de soqueira.

O abalo de soqueira, por sua vez, foi muito semelhante para a máquina John Deere para ambos os tratamentos, porém a Case IH em canavial ereto obteve resultados melhores, muito provavelmente relacionado a construção do sistema de corte de base com discos de corte em ângulo menor de ataque, conseguindo chegar à 76% e 88% para os discos do corte do lado esquerdo e direito respectivamente. Como era de se esperar, para canaviais deitados esse impacto é maior, porém nota-se que a máquina Case IH foi semelhante a John Deere nessa situação de canavial (Figura 66).

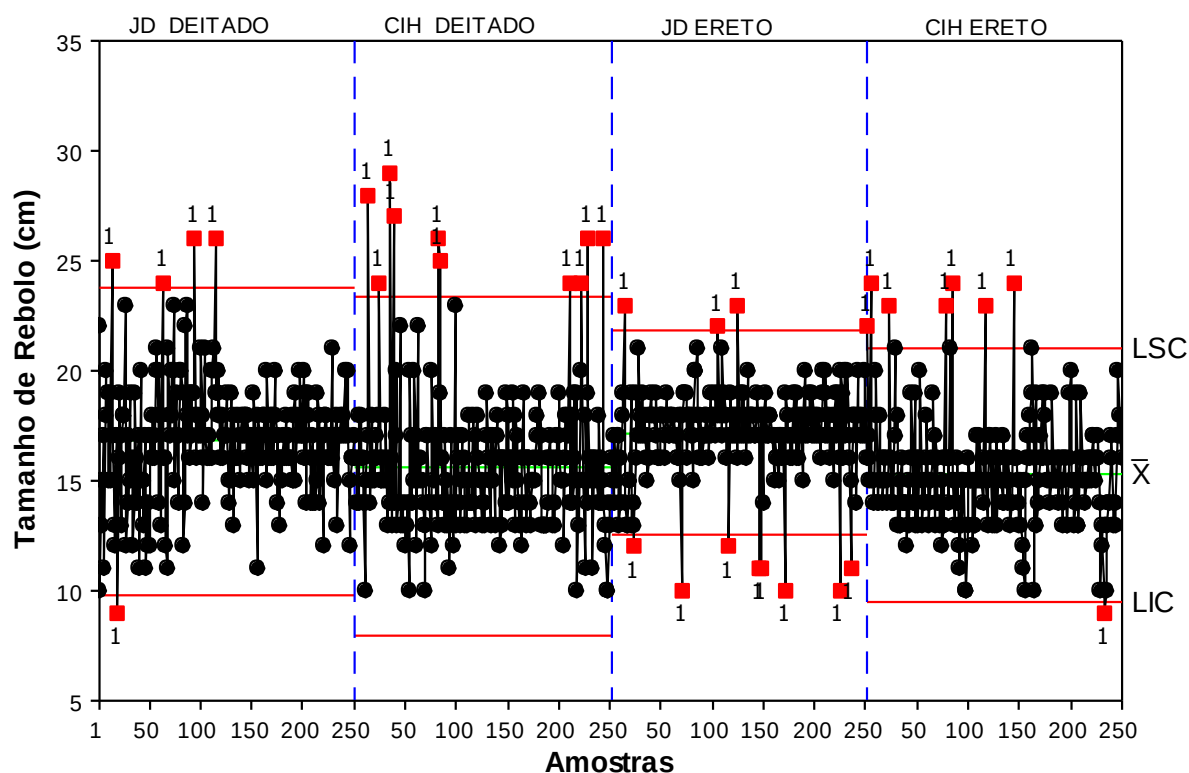


Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 66. Abalo de soqueira: frequência por tratamento

1.9. Tamanho e cisalhamento de rebolos.

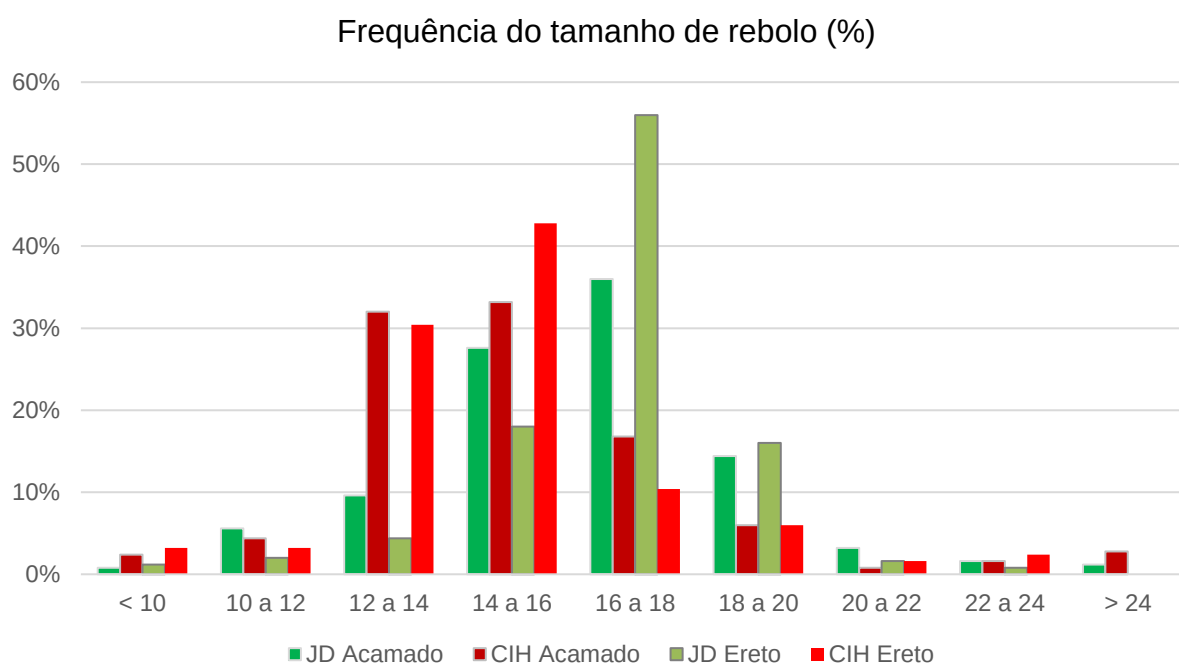
Quando se avaliou o tamanho de rebolo nota-se que a variação entre o tamanho de rebolos da máquina John Deere foi melhor mantendo o limite superior e inferior de controle menor, em outras palavras, em melhor controle. Já a máquina Case IH houve uma variação maior com número maior de pontos fora de controle principalmente acima do limite superior de controle (Figura 67). Apesar do número grande de pontos considerados fora de controle, acima dos limites superior e inferior, devido à o grande número de amostras (250 para cada tratamento) podemos considerar que o processo estava sob controle.



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 67. Tamanho de rebolo - cm: carta de controle por tratamento

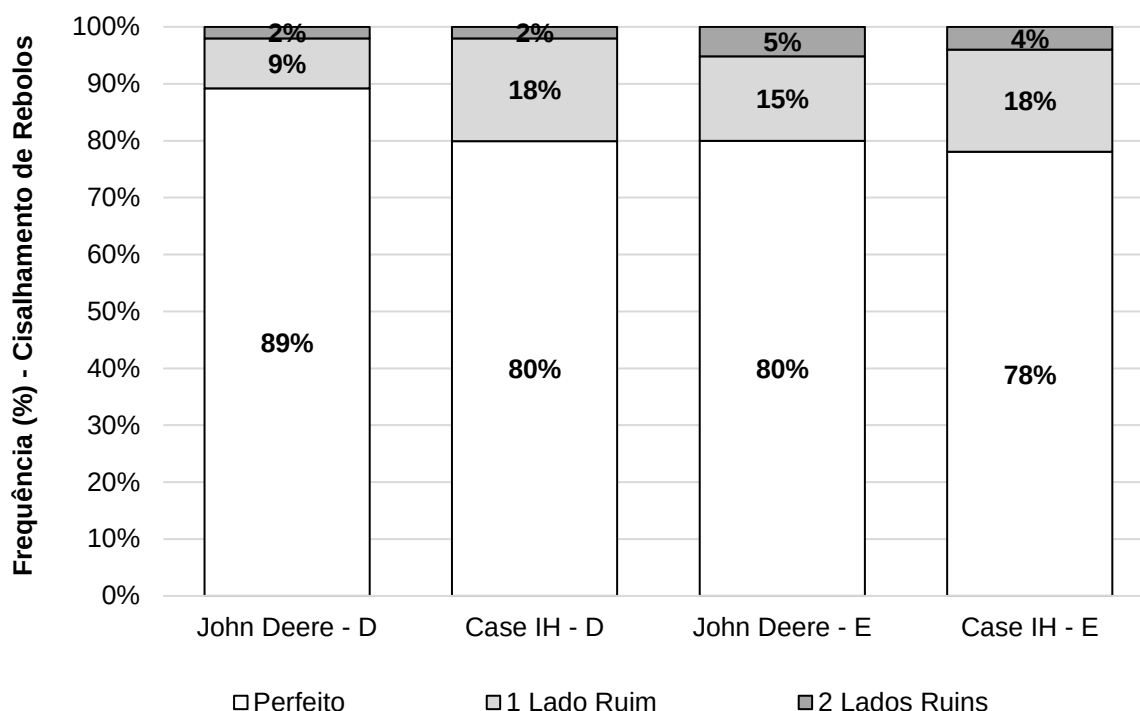
A maior frequência de tamanho de rebolos das máquinas manteve-se boa entre 12 a 22 cm que é o tamanho recomendado para manter as boas qualidades de limpeza, índices de matéria estranha e entrega de um produto de qualidade na indústria. Para a colhedora Case IH esteve entre 12 e 18 cm e para a colhedora John Deere entre 12 e 20 cm (Figura 68).



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 68. Tamanho de rebolos - cm: frequência por tratamento

O índice de cisalhamento de rebolos para todas as máquinas estavam entre 79 e 89% perfeitos, entre 9 e 18% com um lado ruim e entre 2 e 5% com dois lados ruins, mostrando que os rolos picadores das máquinas estavam devidamente regulados e com facas de corte novas e em boas condições de uso (Figura 69).



Tratamentos: John Deere - D: colhedora JD 3522 em canavial deitado; Case - D: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial deitado; John Deere - E: colhedora JD 3522 em canavial ereto; Case - E: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em canavial ereto.

Figura 69. Cisalhamento de rebolos: frequência por tratamento

1.10. Considerações gerais.

Na Tabela 11 e 12 observa-se todos os resultados obtidos no ensaio e discutidos anteriormente com as devidas análises estatística.

Na Tabela 11 estão apresentados os resultados relacionados a classificação da cultura e área de trabalho, do desempenho operacional por meio das capacidades de colheita, da qualidade de colheita demonstrados por meio de das matérias estranhas vegetal e mineral, as perdas de matéria-prima subdivididas por classificação e totais e o consumo de combustível.

Tabela 11. Resumo dos resultados do ensaio: Clealco – Clementina/SP.

SEGMENTO	Parâmetro*	Unidade	JD - D	CIH - D	JD - E	CIH - E
Condições	Produtividade Agrícola	t ha ⁻¹	120,89 a	131 a	88,85 b	102,4 b
	Umidade do solo	%	11,64 b	15,3 b	17,6 a	18,8 a
	Velocidade estimada	km h ⁻¹	3,01 b	3,25 b	4,09 a	3,81 a
Capacidade	Capacidade de colheita - Bruta	t h ⁻¹	85,29 a	105,58 a	88,46 a	94,93 a
	Capacidade de colheita - Líquida		76,56 a	93,69 a	82,32 a	85,85 a
Qualidade	Matéria estranha vegetal		3,14 a	5,5 a	3,7 a	4,52 a
	Matéria estranha mineral	%	1,04 ab	1,59 a	0,55 b	1,01 ab
	Matéria estranha total		4,18 a	7,09 a	4,25 a	5,53 a
	Perdas de rebolos		0,86 a	0,81 a	0,37 a	0,83 a
	Perdas de tocos		1,47 a	1,06 a	0,65 a	1,06 a
	Perdas de estilhaços	t ha ⁻¹	1,54 a	0,82 b	0,39 b	0,7 b
	Perdas de colmos soltos		3,72 a	2,56 ab	0,8 b	1,54 b
	Perdas de colmos fixos		0,11 a	0,55 a	0,28 a	0,33 a
	Perdas totais		7,71 a	5,81 ab	2,49 c	4,46 bc
	Perdas de rebolos		0,71 a	0,61 a	0,42 a	0,79 a
	Perdas de tocos		1,24 a	0,8 a	0,72 a	1,03 a
	Perdas de estilhaços	%	1,27 a	0,63 ab	0,44 b	0,69 ab
	Perdas de colmos soltos		3,07 a	1,97 ab	0,9 b	1,51 b
	Perdas de colmos fixos		0,09 a	0,43 a	0,3 a	0,32 a
	Perdas totais		6,38 a	4,43 ab	2,78 c	4,34 bc
	Eficácia de manipulação	%	93,62 b	95,57 ab	97,22 a	95,66 ab
Consumo	Consumo de combustível por hora	L.h ⁻¹	60,92 b	68,18 a	59,5 b	70,19 a
	Consumo na Capacidade efetiva bruta	L.t ⁻¹	0,72 a	0,66 a	0,67 a	0,75 a
	Consumo na Cap. efetiva líquida		0,8 a	0,74 a	0,72 a	0,83 a

* Letras distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos. A letra “a” indica o maior valor, “b” o segundo e assim sucessivamente.

JOHN DEERE - D = Canavial deitado; **CASE - D** = Canavial deitado; **JOHN DEERE - E** = Canavial ereto; **CASE - E** = Canavial ereto

Na tabela 12 tem-se o resumo de todos os resultados até então apresentados com relação a qualidade de corte de base e do picador, representadas por meio da altura de corte, danos e abalo na soqueira e tamanho e índice de cisalhamento de rebolos.

Tabela 12. Resumo das frequências de avaliação dos mecanismos de corte de base e picador do ensaio: Clealco – Clementina/SP.

Mecanismo	Parâmetro	Intervalo/ Classificação	JD - D	CIH D		JD - E	CIH - E	
				Dir	Esq		Dir	Esq
Corte de base	Altura de corte (cm)	0 a 5	52%	29%	21%	72%	52%	48%
		5 a 10	32%	42%	29%	20%	36%	48%
		10 a 15	16%	21%	33%	8%	8%	4%
		15 a 20	-	-	8%	-	4%	-
		> 20	-	8%	8%	-	-	-
	Danos à soqueira	Sem Danos	32%	4%	8%	16%	52%	48%
		Danos Parciais	40%	36%	8%	72%	44%	44%
		Fragmentado	28%	60%	84%	12%	4%	8%
	Abalo de soqueira	Fraco	52%	56%	36%	52%	76%	88%
		Médio	40%	32%	44%	36%	16%	12%
		Forte	8%	12%	20%	12%	8%	-
Picador	Tamanho de rebolo	< 10	1%	2%	1%	3%		
		10 a 12	6%	4%	2%	3%		
		12 a 14	10%	32%	4%	30%		
		14 a 16	28%	33%	18%	43%		
		16 a 18	36%	17%	56%	10%		
		18 a 20	14%	6%	16%	6%		
		20 a 22	3%	1%	2%	2%		
		22 a 24	2%	2%	1%	2%		
		> 24	1%	3%	-	-		
	Cisalhamento de rebolo	Perfeito	89%	80%	80%	78%		
		1 Lado Ruim	9%	18%	15%	18%		
		2 Lados Ruins	2%	2%	5%	4%		

*Dir = Corte de base direito / Esq = Corte de base esquerdo

JOHN DEERE - D = Canavial deitado; **CASE - D** = Canavial deitado; **JOHN DEERE - E** = Canavial ereto; **CASE - E** = Canavial ereto

1.11. Conclusões.

A capacidade efetiva de colheita foi igual para todos os tratamentos, pois, apesar da maior produtividade do canavial deitado, a velocidade de deslocamento no canavial ereto foi maior e, conseqüentemente, igualou a quantidade de cana colhida por hora.

No canavial deitado as perdas são maiores que na colheita do canavial ereto.

A matéria estranha mineral foi considerada de média a alta, com exceção da colhedora John Deere em canavial ereto, mas mantiveram-se dentro dos limites aceitáveis. Houve diferença entre a máquina Case no canavial deitado e máquina John Deere em canavial ereto. A matéria estranha vegetal manteve-se próximo aos limites máximos aceitáveis e sem diferença entre elas.

O consumo de combustível manteve-se em níveis aceitáveis e iguais para os tratamentos quando foram comparados em $L\ t^{-1}$, porém quando foi avaliado em $L\ h^{-1}$ a máquina John Deere consumiu menos nas duas situações de canaviais.

Para a altura de corte, todos os tratamentos apresentaram resultados bons apenas o tratamento 2 da máquina Case IH em canavial deitado apresentar média de 9 à 10 cm, acima dos demais que estiveram entre 5 à 7 cm.

Os danos e abalo da soqueira, a máquinas John Deere foi mais estável e obteve resultados semelhantes nas duas situações de canavial. Já a Case IH e, canavial ereto obteve os melhores resultados comparados com todas as máquinas, mas em canavial deitado foi pior que todos os demais.

O tamanho e cisalhamento de rebolos as máquinas estavam dentro dos limites de controle.

No geral as máquinas obtiveram resultados satisfatórios somente sendo ponto de maior atenção as perdas e matéria estranha mineral principalmente em canaviais deitados.

1.12. Referências.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; FERREIRA, V.A.C.; MARTINS, J.M.S. Análise de índices técnicos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar na safra 2011/12. **Revista Agrimotor**, São Paulo, n. 72, p. 12-15, 2012.

BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo em três colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BELARDO G. C.; ROSA J. H. M. MAGALHÃES P. S. G. Evolução da colheita mecanizada na cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

CONAB. **Companhia nacional de abastecimento** em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf> Acesso em Agosto 2016.

CARDOSO, G.B.C. **Aplicação de dessecante na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para colheita mecanizada**. 2011. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciências. Área de concentração: Máquinas agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MAGALHÃES, P.S.G.; BALBO, R.F.G.; CERRI, D. G. P. **Sistema de sincronismo entre a colhedora de cana-de-açúcar e o veículo de transbordo**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.2, p.274-282, abr./jun. 2008.

MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Avaliação tecnológica da mecanização da cana de-açúcar. In: **BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR: P&D para Produtividade e Sustentabilidade**. p. 14. 2010.

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

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

NEVES J. L. M. Avaliação da colheita mecanizada – Determinação de impurezas minerais e vegetais. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

NEVES J. L. M. Avaliação da colheita mecanizada – Avaliação de perdas quantitativas na colheita de cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

OLIVEIRA, C. A. A. **Modelagem e validação experimental de um cortador basal com discos segmentados**. 2003. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 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. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

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.

ROSA, J.H.M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em espaçamento duplo alternado**. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013

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

TESTA, J. V. P. **Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para uma e duas linhas da cultura**. 2014. 43f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – UNESP, Botucatu, 2014.

TOLEDO, A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A. Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. **Scientia Agricola**, v.70, n.6, 2013, p. 384 – 389.

TOLEDO, A.; FURLANI, C. E. A.; SILVA R. P.; Monitoramento de perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. In: SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; **Controle de Qualidade em operações agrícolas mecanizadas**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015 244p.

CAPÍTULO 5 – DESEMPENHO DE COLHEDORA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM COLHEITA DE DUAS FILEIRAS DE ESPAÇAMENTO SIMPLES DE 1,5 M E TRIPLO ALTERNADO (0,75 M X 0,75 M X 1,5 M)

RESUMO: O uso de colhedoras de cana de múltiplas fileiras vem crescendo consideravelmente na última década visando à redução de custos de produção e aumento de eficiências operacionais. O desenvolvimento de máquinas capazes de colher duas fileiras de espaçamentos simples de 1,00 até 1,50 m mostrou-se uma opção viável e a possibilidade de colher até três fileiras está sendo avaliada experimentalmente. O setor busca alcançar médias de produtividade acima de três dígitos e essas opções de colheita visam menor tráfego, menos compactação de solo e maior longevidade para aumentar a produtividade dos canaviais, porém, desafios sob a óptica de capacidade de colheita, qualidade de matéria-prima colhida e perdas mostram-se relevantes. Neste sentido, objetivou-se neste trabalho comparar os resultados de duas configurações de colhedora de duas fileiras em espaçamento simples de 1,50 m e uma dessas configurações colhendo o espaçamento experimental triplo alternado. O experimento foi realizado na CerradinhoBio em Chapadão do Céu, GO, durante a safra 2015/2016. Foram realizados três tratamentos com cinco repetições cada, sendo eles: Case IH A8800 MR com faca de corte no disco de corte original colhendo duas fileiras de 1,50 m (T1), Case IH A8800 MR com faca recolhedora no disco de corte original (T2) colhendo duas fileiras de 1,50 m, e Case IH A8800 MR com faca de corte no disco de corte original (T3) colhendo espaçamento triplo alternado. Foram avaliadas as variáveis: capacidade de campo; qualidade de matéria-prima; perdas; qualidade do corte de base; e qualidade de corte do picador. Os melhores tratamentos foram o tratamento 2 e 3 seguido pelo tratamento 1. Isso demonstra que a configuração da colhedora com facas recolhedoras têm a performance melhor do que com facas de corte colhendo duas fileiras de 1,50 m e que o espaçamento triplo alternado mostra-se promissor.

PALAVRAS-CHAVE: colheita de cana-de-açúcar, mecanização, máquinas agrícolas, desempenho efetivo, controle de qualidade de processos, perdas.

CHAPTER 5 – SUGAR CANE HARVESTER PERFORMANCE WORKING IN TWO ROW OF SINGLE 1.50 M ROW SPACING AND TRIPLE ALTERNATED (0.75 M X 0.75 M X 1.50 M).

ABSTRACT: The use of cane harvester's able to harvest two or more rows has grown considerably in the last decade in order to reduce costs and increase in operational efficiency. The development of machines capable of harvesting two rows of 1.00 to 1.50 m row spacing proved to be a viable option and the ability to harvest up to three rows have been evaluated experimentally. The industry seeks to achieve average productivity above three digits and these options aimed less traffic, less soil compaction and greater longevity and productivity of sugarcane fields, but challenges from the standpoint of harvesting capacity, quality of raw materials and losses shown to be relevant. In this sense, the objective of this study was to compare the results of two harvester settings for two rows in single row spacing of 1.50 m and one of these settings reaping triple alternated experimental spacing. The data was collected at CerradinhoBio in Chapadão do Céu, GO, Brazil, during the season 2015/2016. Three treatments were performed with five repetitions each one being: Case IH A8800 MR with cutting knife in original base cutter harvesting two rows of 1.50 m (treatment 1), Case IH A8800 MR with harvester knife in original base cutter (treatment 2) harvesting two rows of 1.50 m, and Case IH A8800 MR with cutting knife in original cutting disc (treatment 3) reaping triple spacing alternate. It was evaluated: Throughput capacity, harvesting quality raw material; losses; base cutter quality and chopper quality. It was proven that the best treatments were treatment 2 and 3 followed by treatment 1. This shows that the configuration of the harvester for two rows of 1.50 m with pickers knives have a better performance than with cutting knives and that the triple alternated row spacing is a good alternative and shows promising results.

KEYWORDS: sugarcane harvesting, mechanization, agricultural machinery, effective harvesting capacity, quality control charts, losses.

INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar em novas fronteiras vem estabelecendo desafios, porém traz ganhos de ordem operacional, devido principalmente as grandes extensões de terras com declividade favorável. Ambientes de produção de Cerrado, por sua vez, têm manejo diferente do que comumente se vinha produzindo cana-de-açúcar principalmente em São Paulo. Novas técnicas de manejo aliada ao uso correto de mecanização vêm fazendo essas fronteiras se destacarem em âmbito nacional (BELARDO et al. 2015).

Alguns dos fatores que favorecem a produção de cana-de-açúcar em Goiás está relacionado ao fotoperíodo adequado à cana-de-açúcar, ou seja, a planta recebe as horas de iluminação necessária para ter um bom desenvolvimento vegetativo, índices pluviométricos adequados, relevo e topografia que auxiliam na mecanização da lavoura e com isso, uma redução nos custos com mão de obra. Goiás vem se consolidando como um dos líderes nacionais na produção de etanol e açúcar e possui a segunda maior área plantada e produção no país, quarto maior produtor de açúcar e segundo maior produtor de etanol. Outro ponto positivo são as boas cotações que o açúcar tem alcançado nos mercados nacional e internacional. Aliado ao incremento de área, aplicação de tecnologia, boas condições edafoclimáticas, estes fatores auxiliam no aumento de produtividade média no estado, saindo de 77,65 t ha⁻¹ em 2014/2015, para 82,65 t ha⁻¹ na safra 2015/16. Esse aumento de produtividade não foi apenas devido ao fato das condições climáticas, pois estes não foram favoráveis, como ocorrência em algumas regiões do estado, de chuvas abaixo da média esperada, mas sim pelo incremento de tecnologia nas lavouras de cana-de-açúcar (CONAB, 2016).

Por esses motivos, maiores números de pesquisas vêm sendo desenvolvidos nessas áreas e ensaios padronizados de colhedora são um dos pontos que devem ser avaliados nesse novo cenário.

MATERIAL E MÉTODOS

A variedade utilizada foi a RB 966928, em canavial de primeiro corte.

Foram avaliadas as seguintes variáveis: produtividade, velocidade de deslocamento, eficácia de manipulação, capacidade efetiva bruta e líquida de colheita, perdas de matéria-prima, qualidade de matéria-prima colhida (impurezas minerais e vegetais), consumo de combustível, qualidade do corte de base e índice de abalo de soqueira e qualidade de corte do rolo picador e índice de cisalhamento de rebolos.

O material e métodos foram os mesmos já demonstrados no Capítulo de introdução dessa tese, sendo a única diferença referente aos tratamentos.

As diferenças entre os tratamentos foram as configurações das máquinas e o espaçamento de colheita adotado no ensaio sendo divididos em:

1. Tratamento 1 – Case IH A8800 *Multi-row*: Motor FPT C9 (*Tier III*) de 6 cilindros de 9 litros, de 260 kW (358 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema *Smart Cruise*, de controle de rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m. A colhedora possuía o sistema automático de direcionamento via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador. Também possuía o kit de rolos alimentadores no divisor de linhas e sistema *autofloating* de controle automático de corte de base. **Colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m e facas de corte no corte de base original da máquina.**

2. Tratamento 2 – Case IH A8800 *Multi-row*: Motor FPT C9 (*Tier III*) de 6 cilindros de 9 litros, de 260 kW (358 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema *Smart Cruise*, de controle de rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m. A colhedora possuía o sistema automático de direcionamento via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador. Também possuía o kit de rolos alimentadores no divisor de linha e sistema *autofloating* de controle automático de corte de base. **Colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m e facas recolhedoras no corte de base original da máquina.**

3. Tratamento 3 – Case IH A8800 *Multi-row*: Motor FPT C9 (*Tier III*) de 6 cilindros de 9 litros, de 260 kW (358 cv), com quatro válvulas por cilindro, sendo equipadas com o sistema *Smart Cruise*, de controle de rotação do motor e rodados de esteiras com bitola de 2,4 m. A colhedora possuía o sistema automático de direcionamento via RTK que foi utilizado durante o ensaio para minimizar a influência do operador. Também

possuía o kit de rolos alimentadores no divisor de linha e sistema *autofloating* de controle automático de corte de base. **Colhendo três fileiras de espaçamento triplo alternado (0,75 m x 0,75 m x 1,50 m) e facas de corte no corte de base original da máquina.**

O sistema de corte basal das colhedoras, coma as facas cortadoras e recolhedoras são apresentados na Figura 70, enquanto que na Figura 71 é mostrado o plantio “triplo alternado”.

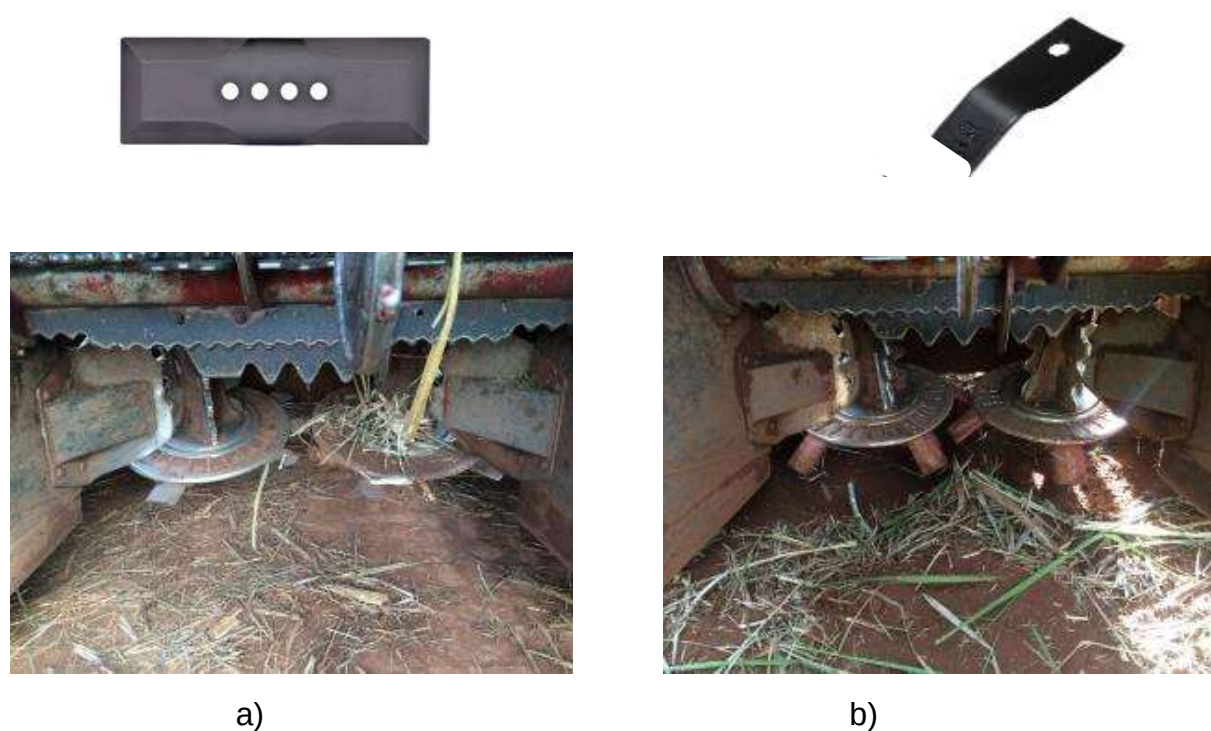


Figura 70. Corte de base de central: a) Facas cortadoras; b) Facas recolhedoras.

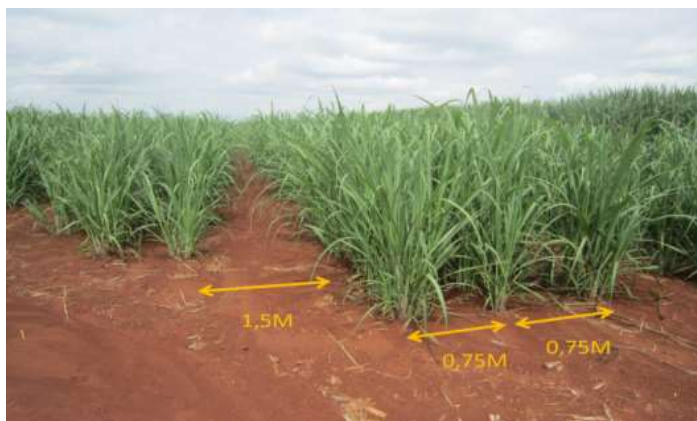


Figura 71. Espaçamento de plantio “triplo alternado” com três fileiras de 0,75 m com espaçamento entre fileiras de 1,50 m para tráfego de equipamentos.

Fonte: Belardo, 2013.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e cinco repetições para cada uma das máquinas, realizando-se a colheita das repetições (“tiros”) na máxima velocidade de deslocamento (respeitando-se o limite máximo de $6,0 \text{ km h}^{-1}$, pré-determinado pela Usina), totalizando 15 determinações no ensaio.

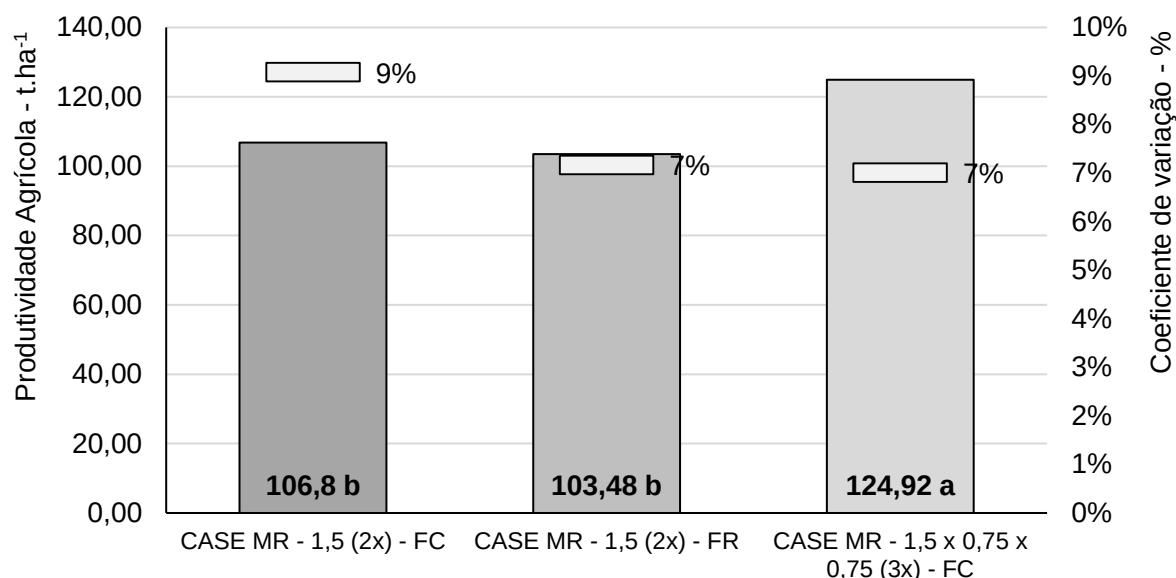
RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Condições do ensaio.

1.1. Produtividade agrícola.

A produtividade agrícola média da área foi de $111,7 \text{ t ha}^{-1}$ em um canavial de primeiro corte, considerada boa, uma vez que a média regional na safra 2015/2016 foi de $82,65 \text{ t ha}^{-1}$ (CONAB, 2016). Houve diferença entre as médias dos tratamentos para a produtividade do espaçamento triplo alternado que foi maior que os demais (Figura 72), o que significa que esse espaçamento deve ser acompanhado nas próximas safras para completar um ciclo de 5 anos para avaliar a produtividade média e a quantidade de açúcar total recuperável (ATR) do período. Em cana planta, para

esse experimento notou-se o aumento de 19% quando comparado ao espaçamento simples de 1,5 m.



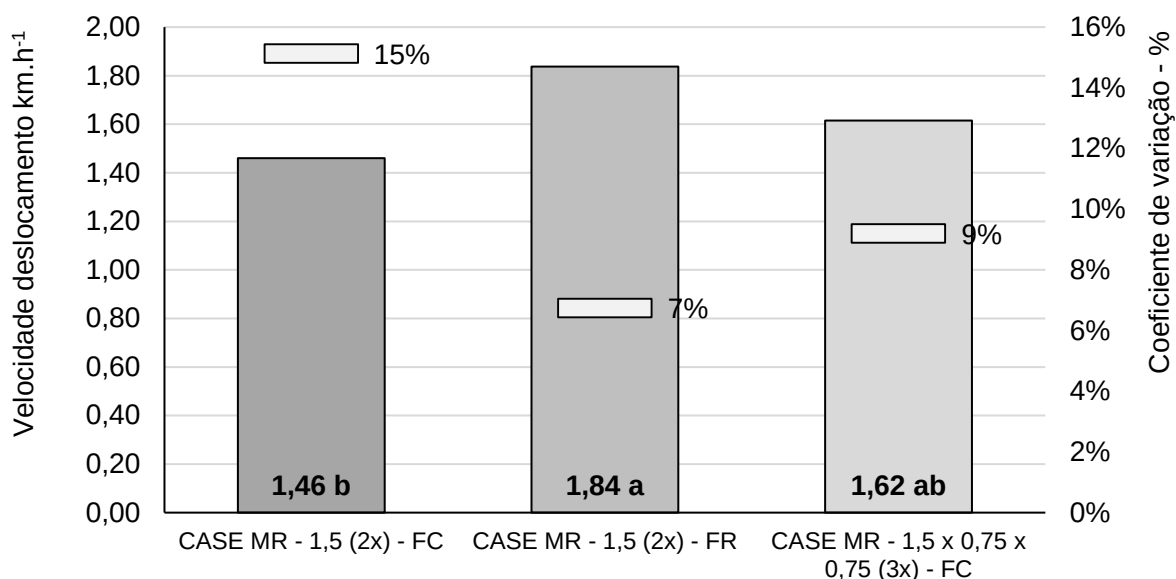
Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhedora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 72. Produtividade agrícola (t ha⁻¹): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.2. Velocidade de colheita.

A velocidade de descolamento das colhedoras está relacionada diretamente à produtividade agrícola, devido à quantidade de material a ser colhido e a capacidade de alimentação e processamento das máquinas. No caso do ensaio realizado, as velocidades de colheita ficaram dentro do limite máximo exigido pela Usina de 6,0 km h⁻¹. O tratamento 1 obteve a menor velocidade de deslocamento quando comparado ao tratamento 2 e ambos não diferiram em relação ao tratamento 3. Isso deve-se principalmente ao fato de no espaçamento simples de 1,5 m o uso da faca de corte faz com que essas tenham uma ação maior na soqueira e consequentemente

maior consumo de potência hidráulica e de motor da máquina levando a uma diminuição da velocidade de deslocamento. Já no tratamento 3, que apesar de ter a mesma configuração do tratamento 1, a ação das facas do corte de base central tem a função de corte efetivo da fileira do meio, o que por sua vez, apesar de exigir potência da máquina, não gerou uma velocidade menor de colheita (Figura 73).



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 73. Velocidade real de colheita – km h⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação.

1.3. Capacidade de colheita.

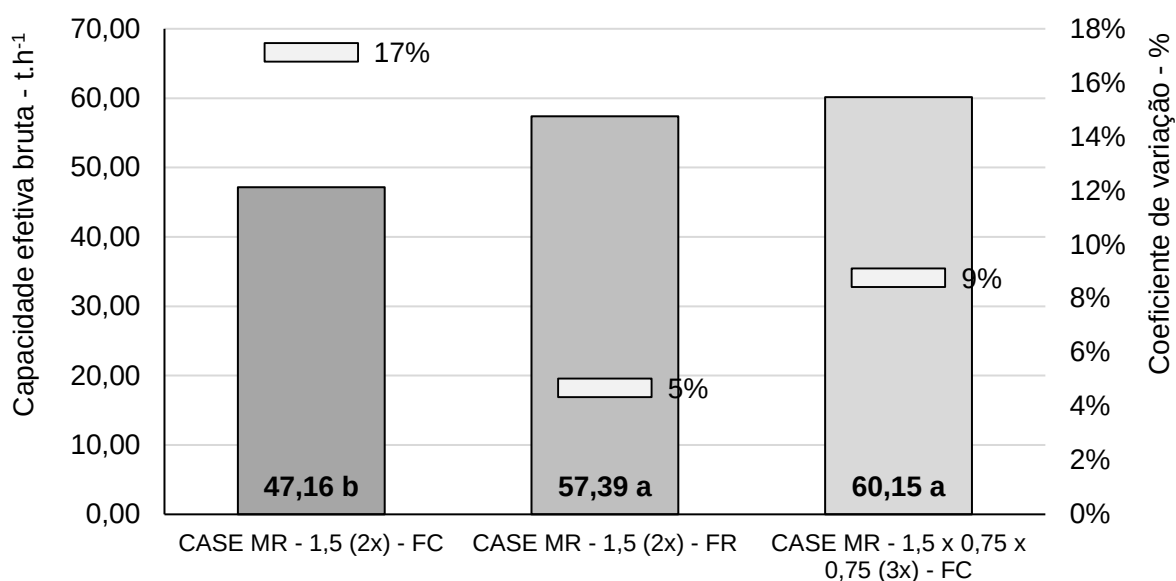
A capacidade de colheita é a relação entre a massa colhida e o intervalo de tempo que a máquina leva para realizar esse trabalho. Assim sendo, a produtividade agrícola e a velocidade de deslocamento da colhedora são os fatores que influenciam essa variável pois afetam a taxa de alimentação e

processamento da colhedora. Nas Figuras 74 e 75 podemos observar os valores da capacidade efetiva de colheita bruta e líquida de matéria-prima.

1.3.1. Capacidade efetiva bruta e líquida de colheita.

A capacidade efetiva bruta de colheita demonstrou uma diferença entre o tratamento 1 e os demais que foram iguais. Os valores ficaram entre 47,0 a 60,0 t h⁻¹ principalmente relacionado a baixa velocidade de deslocamento que as máquinas conseguiram desenvolver nessa área, abaixo de 2,0 km h⁻¹ (Figura 74). A baixa velocidade está relacionada a alta produtividade do canavial e consequente acamamento do mesmo que dificulta o deslocamento da colhedora nessa situação.

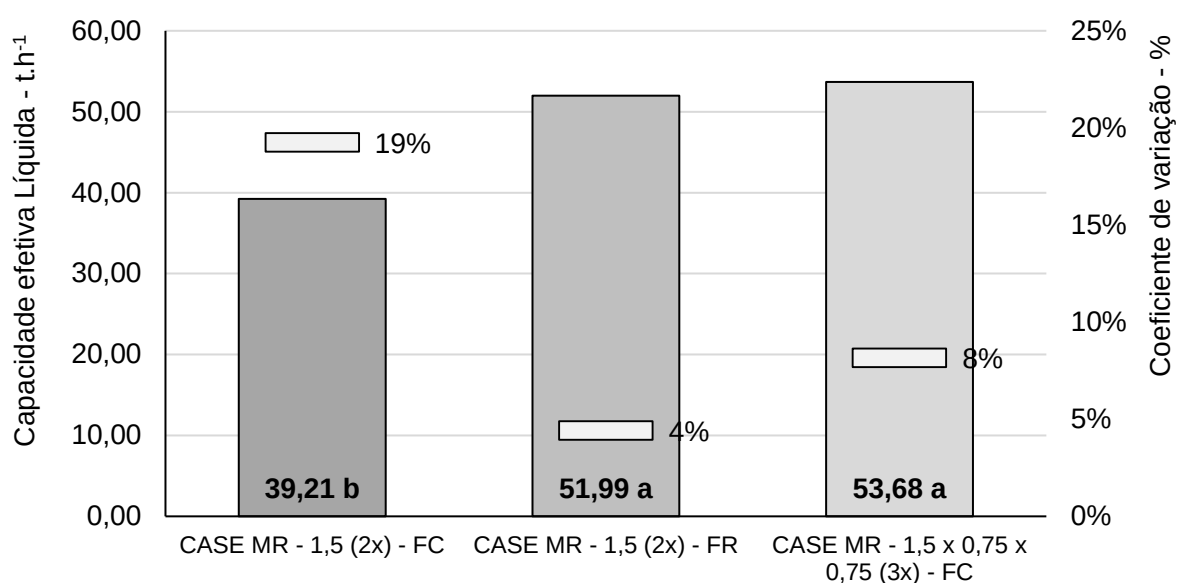
Testa (2014), avaliando uma colhedora de uma fileira comparativamente com uma colhedora de duas fileiras de 1,50 m em três velocidades de colheita (2,5 km h⁻¹, 3,5 km h⁻¹ e 5,0 km h⁻¹), chegou a valores de capacidade efetiva bruta de 65,0 t h⁻¹, 88,0 t h⁻¹ e 117,0 t h⁻¹ respectivamente para a máquina de duas fileiras. Esse valor maior quando comparado a essa pesquisa dá-se a maior velocidade que conseguiu atingir em um canavial de 83,5 t ha⁻¹ de produtividade classificado como ereto. Quando comparamos o valor da menor velocidade do ensaio realizado por ele (2,5 km h⁻¹) observamos capacidade efetiva bruta de colheita semelhantes ao encontrado nesse experimento e é importante ressaltar que os valores médios de capacidade efetiva bruta colhendo duas fileiras foram praticamente o dobro dos encontrados colhendo uma fileira na mesma área e na mesma velocidade de deslocamento na pesquisa realizada pelo autor.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 74. Capacidade de colheita bruta (t h⁻¹): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

Quando se avalia a capacidade líquida de colheita o efeito é o mesmo da capacidade efetiva bruta, sendo que o tratamento 1 diferiu dos demais sendo menor que 40,0 t h⁻¹ enquanto os demais atingiram índices acima de 50,0 t h⁻¹ (Figura 75). Quando comparamos com ensaios de uma fileira, esses valores não são elevados e que comumente devido a maior velocidade de colheita a colhedora de uma fileira consegue atingir valores acima desse.

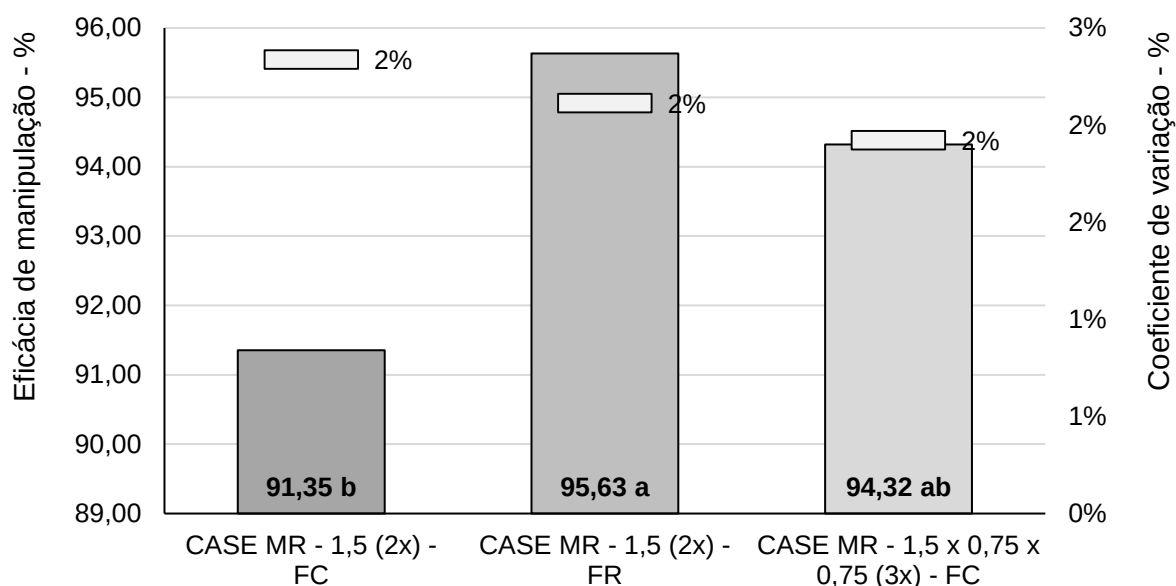


Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 75. Capacidade de colheita líquida ($t\ h^{-1}$): comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.4. Eficácia de manipulação.

Com relação à eficácia de manipulação, o tratamento 1 obteve menor resultado e diferiu do tratamento 2, porém, os mesmos não diferiram do tratamento 3. Os resultados obtidos para o tratamento com faca recolhadora no disco de corte original (tratamento T2) colhendo duas fileiras de 1,50 m, e com faca de corte no disco de corte original (tratamento T3) colhendo espaçamento triplo alternado (T3), apresentaram eficácia de manipulação acima de 94%, o que é considerado por Ripoli e Ripoli (2009) como ideal para colheita de cana-de-açúcar crua (Figura 76). Já o tratamento 1 estava abaixo de 92%, muito provavelmente devido à maior demanda de potência no corte de base com o uso de faca de cortes que exige maior potência hidráulica e do motor da colhedora, prejudicando a qualidade de limpeza e principalmente o maior nível de perdas em campo.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

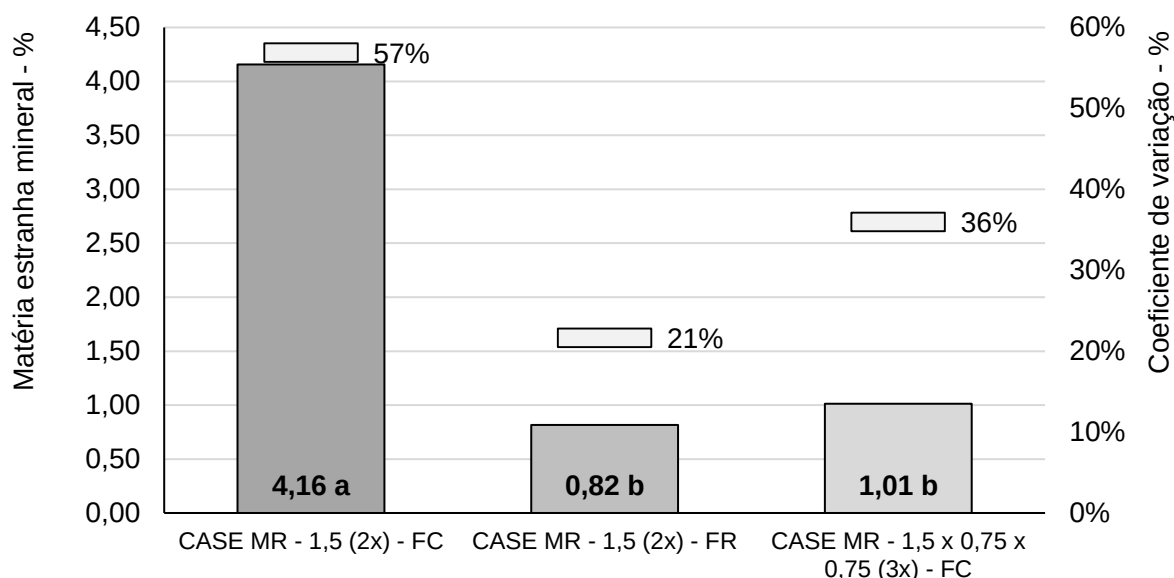
Figura 76. Eficácia de Manipulação - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.5. Qualidade da matéria-prima.

1.5.1. Matéria estranha mineral.

A matéria estranha mineral mostrou valores elevados para o tratamento 1, sendo um ponto muito acima dos demais estando relacionado ao fato das facas do corte de base central atuarem no solo e não na fileira de cana. Esses índices estão muito acima dos índices considerados ideais conforme definição de: Ripoli e Ripoli (2009) com o máximo de 1,5% e Belardo et al. (2015) que considera bom abaixo de 1,0% (Figura 77). Para os tratamentos 2 e 3 não houve diferença, estando ambos nos limites máximos aceitáveis. No trabalho realizado por Testa (2014) quando avaliou uma colhedora de uma fileira encontrou índice de matéria estranha minerais de 0,28%

e para máquina de duas fileiras 0,19% na mesma situação de canavial para duas fileiras.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

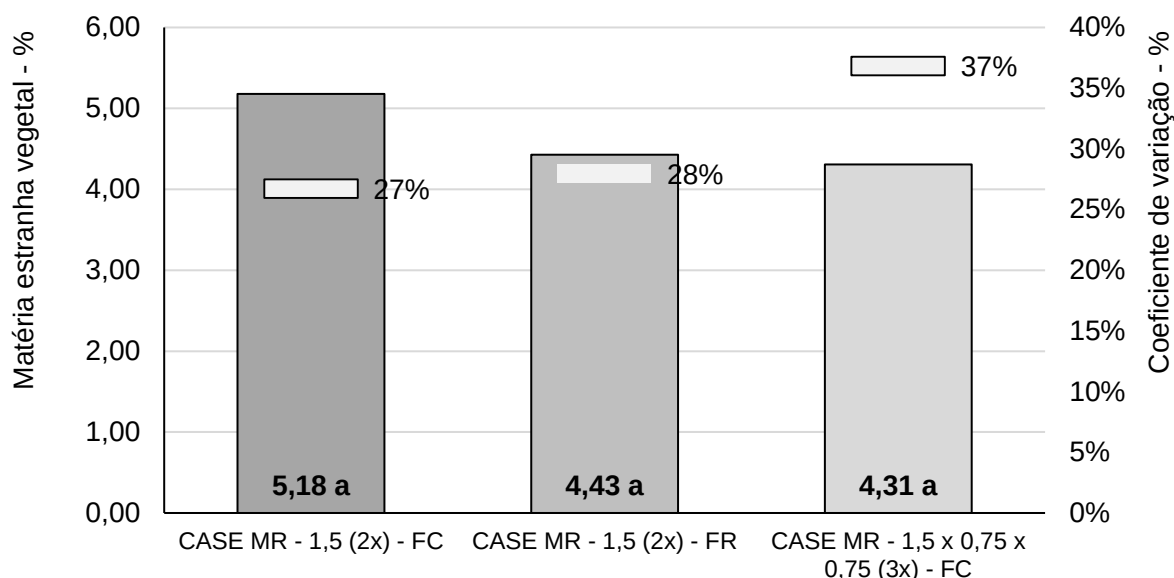
Figura 77. Matéria estranha mineral - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.5.2. Matéria estranha vegetal.

Já a matéria estranha vegetal, manteve-se em índices próximos a 5%, ou seja, considerados aceitáveis e medianos para essa variável não havendo diferença entre os tratamentos (Figura 78).

No trabalho realizado por Testa (2014) os valores encontrados para matéria estranha vegetal foi maior, atingindo 8,72% para colheita de duas fileiras de espaçamento de 1,5 m, porém foi semelhante ao nível atingido pela máquina de uma fileira no mesmo experimento que obteve 8,3%, mostrando que nesse caso, a colheita de mais fileiras não apresentou um problema para o sistema de limpeza da colhedora

sendo que os índices acima de 8% não estavam relacionados a máquina, mas sim a condição do canavial e ou regulagem do extrator primário.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 78. Matéria estranha vegetal - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

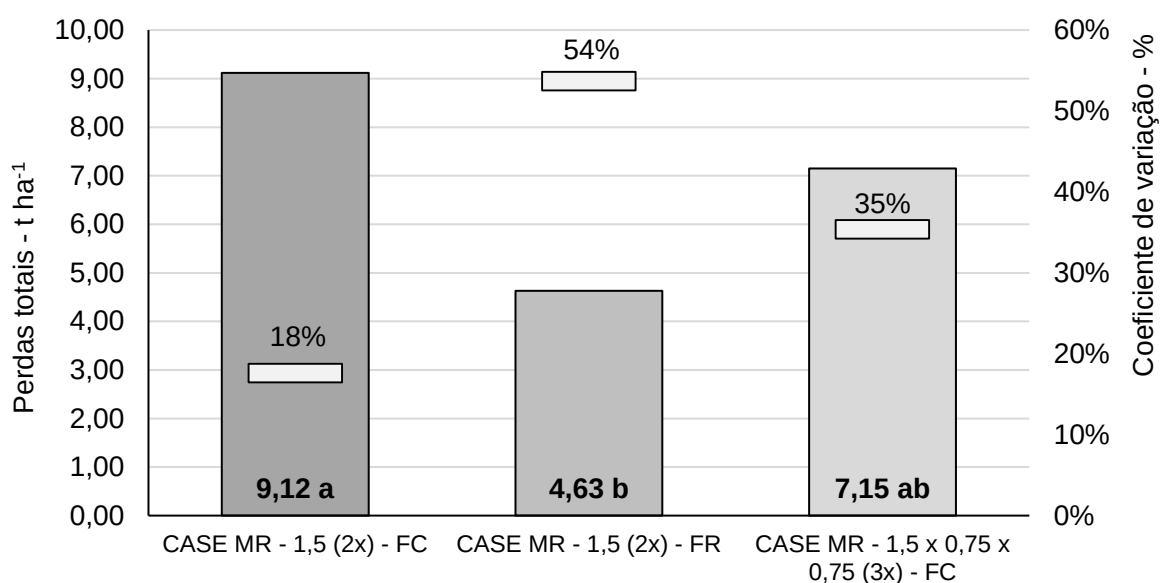
1.6. Perdas.

Os valores encontrados entre 4,63 a 9,12 t ha⁻¹, são considerados elevados para perdas, com exceção do tratamento 2, que apesar de não haver diferença quando comparado com o tratamento 3, em termos absolutos estava abaixo de 5,0 t ha⁻¹. Novamente o tratamento 1 demonstrou um desempenho pior que os demais e apresentaram diferença estatística (Figura 79).

Os valores de perdas totais obtidos são praticamente o dobro dos encontrados nas principais pesquisas realizadas com a colheita de uma fileira conforme trabalhos de Schimdt Junior (2011), Cardoso (2011), Belardo (2010), Ripoli (2004), Mazonetto

(2004), Nery (2000). Isso deve-se ao fato da maior quantidade de cana-de-açúcar no momento da alimentação dos colmos para serem processados para dentro da colhedora e a produtividades acima de $100,0 \text{ t ha}^{-1}$ e acamamento da cultura que podem gerar dificuldades para a colhedora o que acaba gerando perdas principalmente após o corte dos colmos pelos discos frontais da máquina.

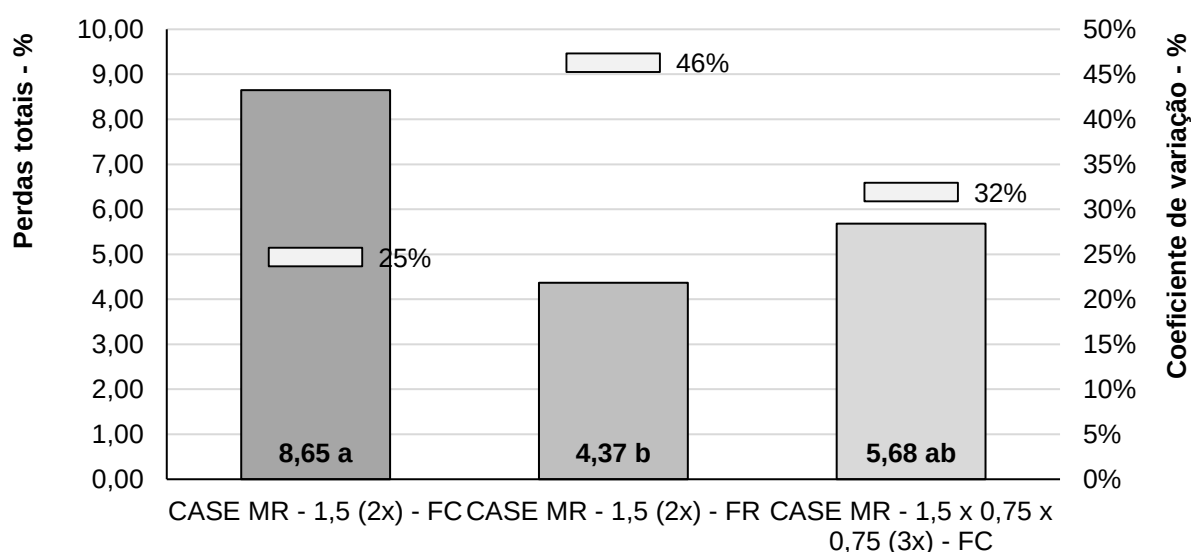
Testa (2014) por sua vez, comparando duas máquinas de uma e duas fileiras em um mesmo canavial, também apresentou perdas de praticamente o dobro entre as máquinas, apesar dos valores absolutos serem menores que os aqui apresentados e abaixo de $3,50 \text{ t ha}^{-1}$. Porém a área amostral foi menor, pois foi usado a metodologia de Neves (2015b) e do CTC (Centro de Tecnologia Canavieira) com o “quadrado” e área de $3,33 \times 3,0 \text{ m}$ o que pode ter influência nessa variação uma vez que apesar dessa perda ser extrapolada em m^2 a probabilidade de erro é maior pela menor área amostral. Nesse trabalho os valores foram de $1,41 \text{ t ha}^{-1}$ para colhedora de uma fileira e $3,34 \text{ t ha}^{-1}$ para duas fileiras.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m.

Figura 79. Perdas totais – t ha^{-1} : comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

As perdas quando calculadas percentualmente foram menores para os tratamentos 2 e 3 e mantiveram-se abaixo de 6%. Somente no tratamento 1 ela foi superior atingindo o valor de 8,65%, estando acima dos limites aceitáveis. Houve diferença estatística entre o tratamento 1 e tratamento 2 e não houve diferença entre o tratamento 3 e os demais (Figura 80). Testa (2014) em seu trabalho coletou 1,69% para uma fileira e 3,34% para duas fileiras, novamente dados que apesar de serem considerados baixos, representam o dobro de perdas na colheita de duas fileiras



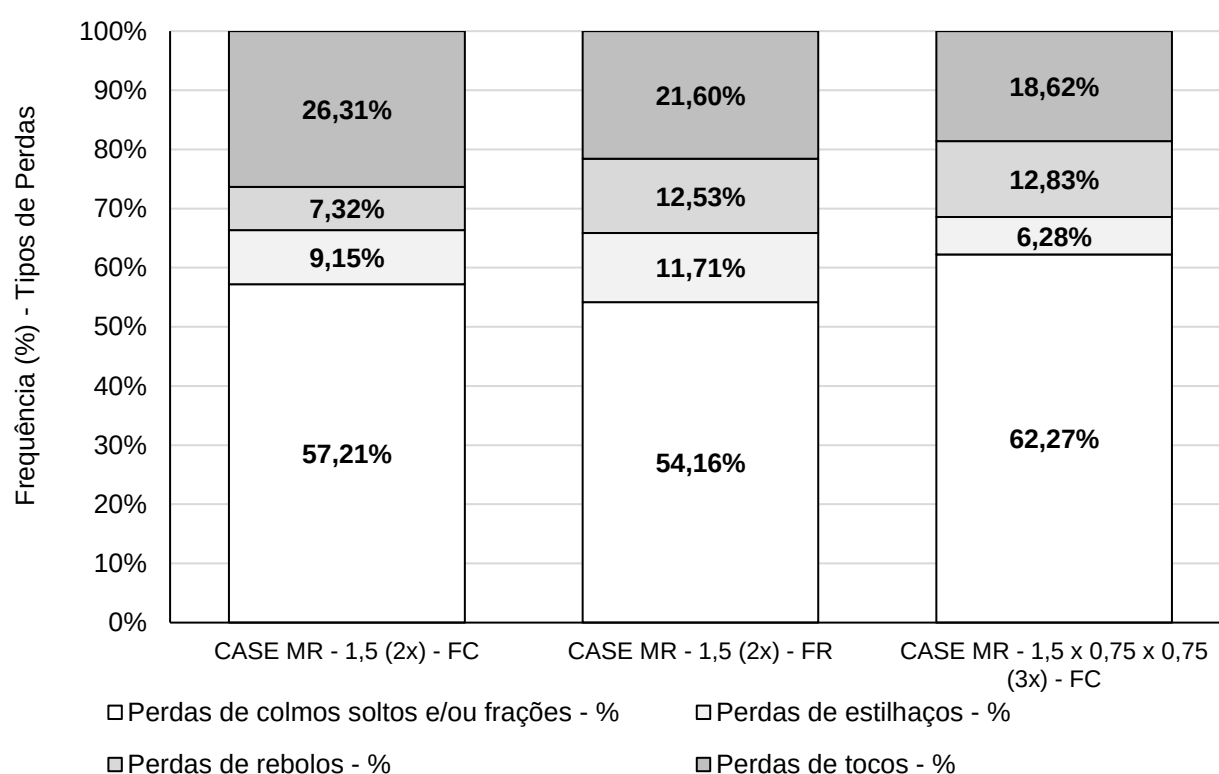
Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 80. Perdas totais - %: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

A principal parcela de perda está relacionada à pedaços soltos e suas frações que apresentou frequência entre 54 a 62%, as perdas de tocos mostraram frequência entre 18 a 26% (Figura 81). Esse índice pode estar relacionado ao porte do canavial, uma vez que em canaviais acamados esse nível de perda é maior, porém também está relacionado diretamente ao sistema construtivo da colhedora que primeiro corta a base dos colmos com os discos de corte localizados sob os divisores de linha para

posterior alimentação do corte de base central original da máquina. Quando os colmos estão deitados ou acamados, muitas vezes após o corte passam por baixo dos divisores de linhas se transformando em perdas no campo, por isso o uso do sistema *autofloating* de controle automático de corte de base do fabricante é de fundamental importância para minimizar as perdas devido a influência ou inabilidade do operador.

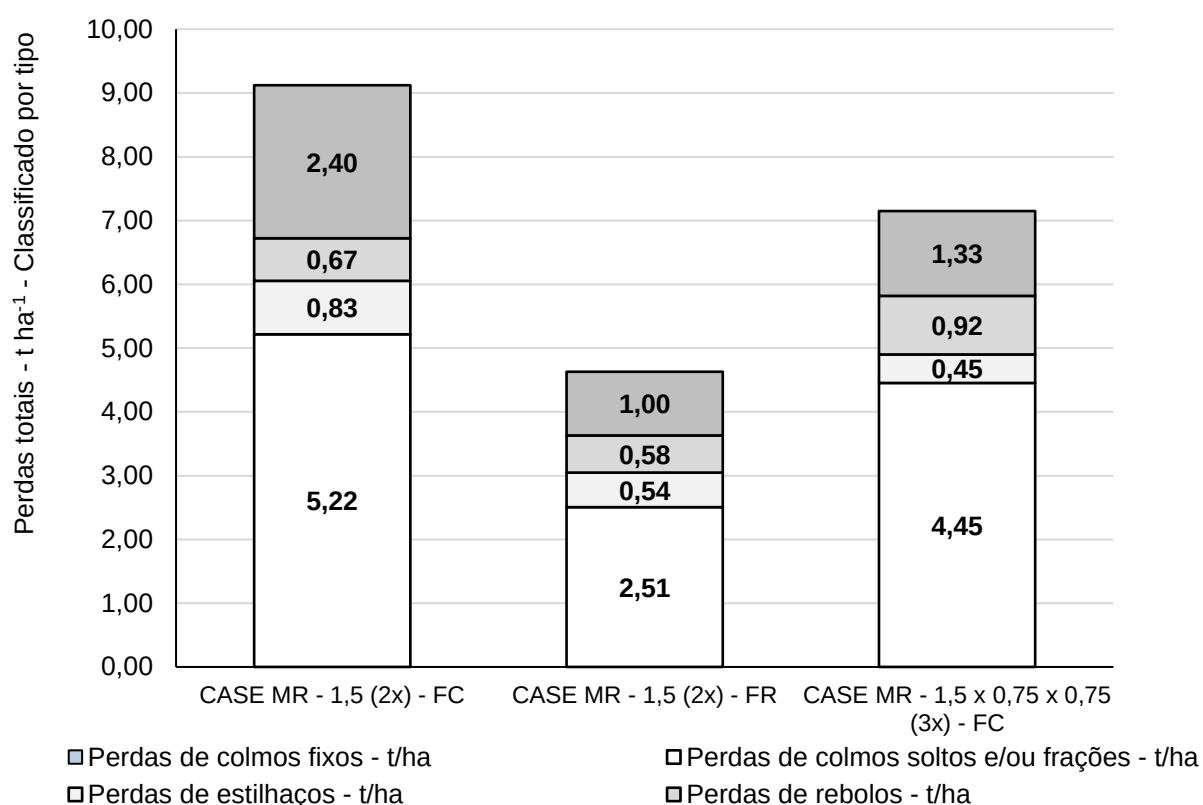
As perdas de tocos, por sua vez, são a segunda maior parcela, estando também ligados a colheita de duas fileiras pois estudos anteriores a esse já demonstram esse comportamento em canaviais duplo alternado conforme Rosa (2013). A correta regulagem e automação do sistema conforme mencionado, por meio de uso de sistemas automáticos e eletrônicos de controle de altura de corte tendem a diminuir essa parcela de perdas.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 81. Frequência de ocorrência de perdas subdividida pelo tipo de perda (%).

Analisando as perdas em $t\ ha^{-1}$ subdividas por tipo (Figura 82), observa-se que só a perdas de colmos soltos e suas frações já estariam no limite máximo aceitável, sendo essa a maior parcela seguida de tocos de soqueira que para o tratamento 1 foi praticamente o dobro dos demais.



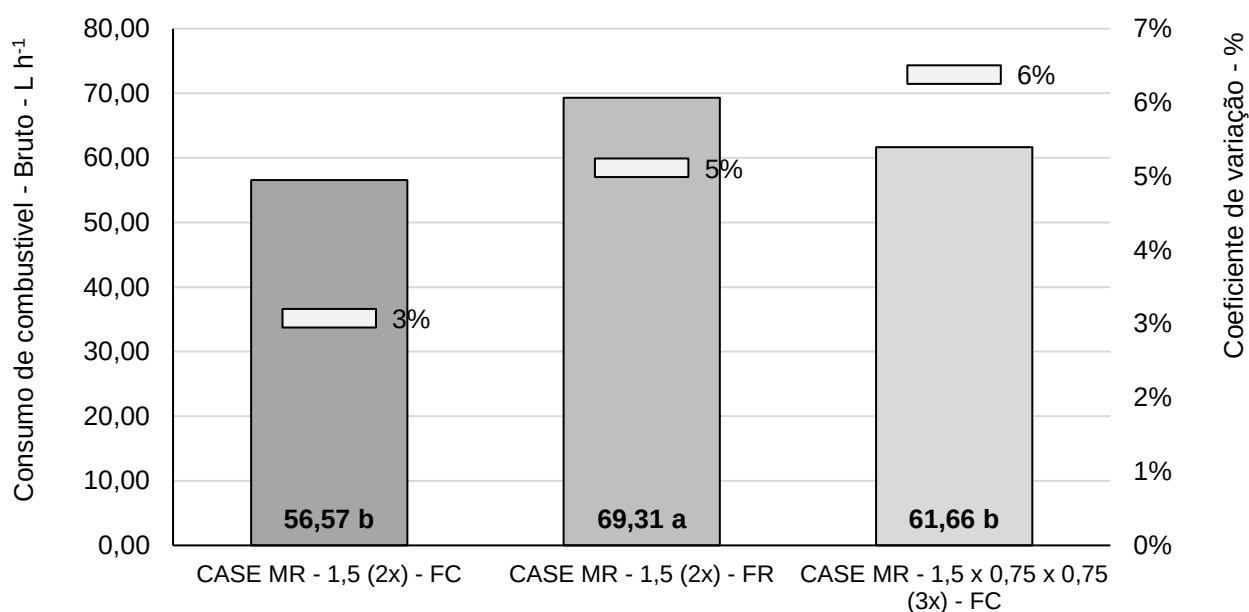
Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 82. Perdas totais ($t\ ha^{-1}$) participação relativa por tipo (colmos soltos e/ou suas frações, estilhaços, rebolos e tocos).

1.7. Consumo de combustível.

1.7.1. Consumo horário de combustível.

O consumo em horário diferiu estatisticamente entre o tratamento 2 e os demais, sendo que nesse foi mais elevado. Novamente é importante salientar que o consumo que deve ser considerado sob a óptica gerencial deve ser mensurado em $L\ t^{-1}$, uma vez que traduz o consumo pela produtividade da colhedora (Figura 83). O consumo em $L\ h^{-1}$ foi semelhante ao consumo encontrado por Testa (2014) que para as três velocidades pré-estabelecidas de colheita atingiu índices entre 51,0 e 60,0 $L\ h^{-1}$ e na melhor velocidade estipulada pela Usina de 3,5 $km\ h^{-1}$ atingiu 57,8 $L\ h^{-1}$.

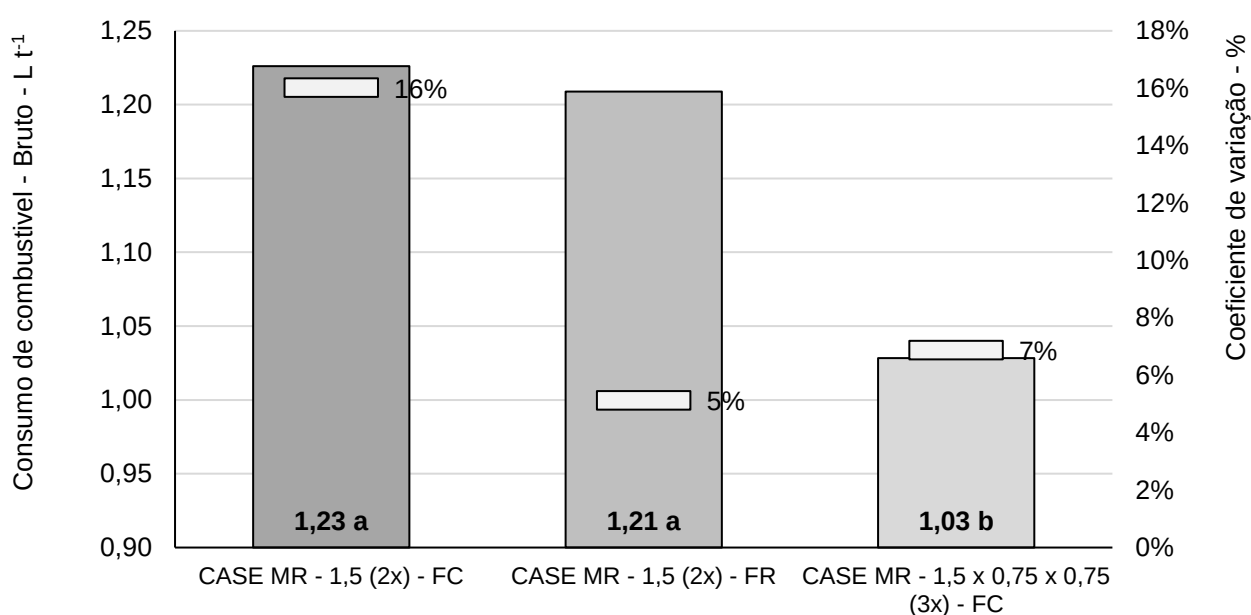


Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 83. Consumo específico de combustível bruto - $L\ t^{-1}$: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.7.2. Consumo na capacidade efetiva bruta e líquida.

O consumo na capacidade efetiva bruta, apresentou diferença estatística entre o tratamento 3 e os demais (Figura 84), sendo que o melhor tratamento apresentou consumo próximo de 1,0 L h⁻¹. O menor consumo por tonelada está relacionado principalmente a maior produtividade do canavial e a velocidade de deslocamento da colhedora.



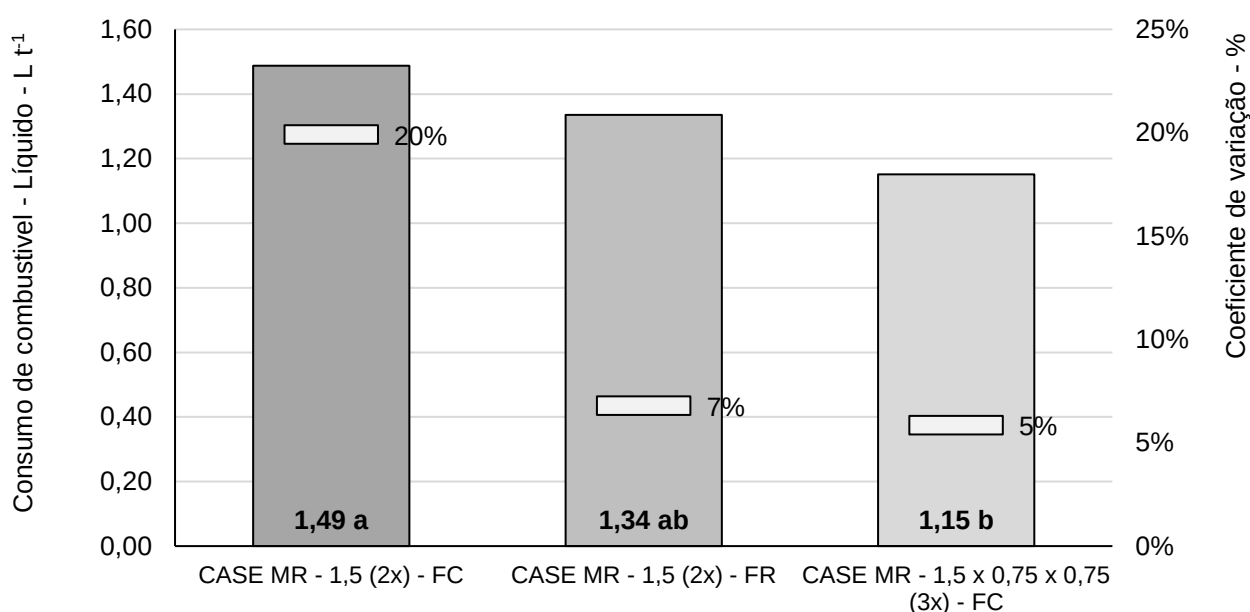
Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 84. Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta - L t⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

O consumo foi mais elevado do que o encontrado por Testa (2014) que na velocidade de colheita de 2,5 km h⁻¹ semelhante a esse experimento encontrou consumo de 0,78 L t⁻¹, diretamente relacionado a maior facilidade de colheita em um

canavial de 83,5 t ha⁻¹ ereto que demanda menor potência da máquina para deslocamento e melhora alimentação de colheita.

O consumo na capacidade efetiva líquida, por sua vez, apresentou diferença estatística entre o tratamento 1, com consumo acima de 1,4 L t⁻¹ e o tratamento 3, O tratamento 2 não apresentou diferença entre os demais (Figura 85) sendo que pode ser comparado ao tratamento 3.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 85. Consumo de combustível na capacidade efetiva líquida - L t⁻¹: comparativo entre médias dos tratamentos e coeficientes de variação (%).

1.8. Avaliação do corte basal.

Toledo et al. (2013), afirmam que resultados de pesquisas recentes sobre a avaliação de corte de base, confirmam que o corte basal de cana-de-açúcar é um dos maiores causadores de danos e perdas na colheita mecanizada. O corte de colmos é

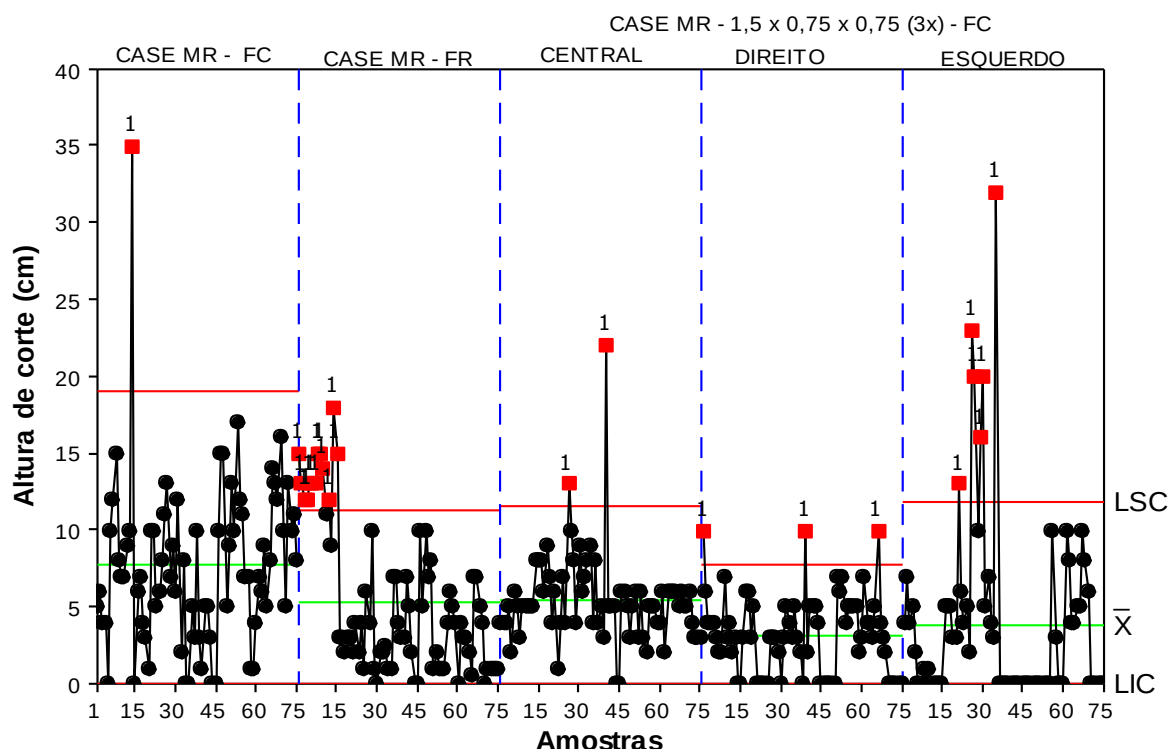
realizado pelo impacto das facas do mecanismo de corte, situação em que os danos ocorrem.

Sendo assim, avaliações do sistema de corte de base das colhedoras faz-se cada vez mais comum e necessário dentro das avaliações de colhedoras de cana.

1.8.1. Altura de corte.

Quando avaliamos a altura de corte por meio da carta de controle (Figura 86), nota-se que os processos estavam sem controle com muitos pontos acima do limite de 10 cm para o tratamento 1, em níveis aceitáveis para o tratamento 2 e para o tratamento 3, como nesse último tratamento foram controlados os dois discos de corte frontais e o corte de base central separadamente, o disco frontal do lado direito e o corte de base central, mostraram-se controláveis e em índices aceitáveis, porém o disco de corte do lado esquerdo estava com grande número de pontos acima do limite máximo e muito acima de 10 cm, isso pode ser justificado pelo lado do tombamento do canavial que pode ter dificultado o controle.

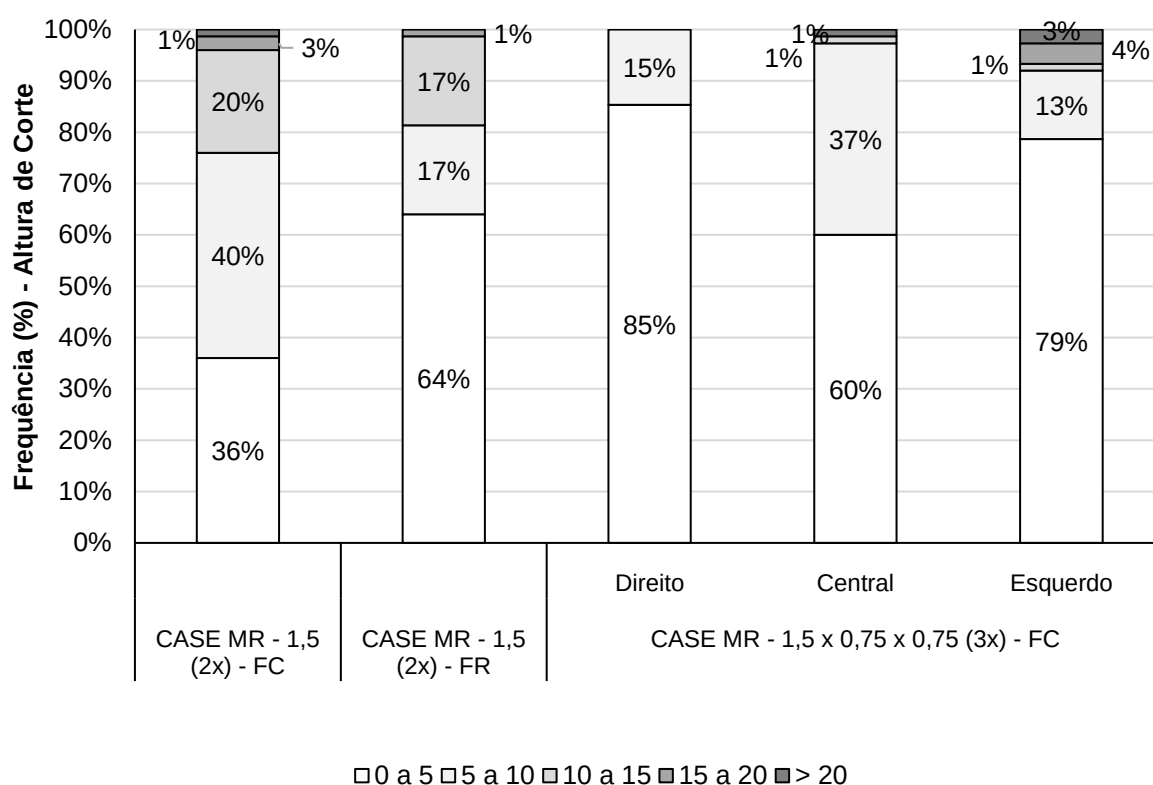
Segundo Toledo (2012), melhores resultados de campo devem ser obtidos quando da realização de preparo do solo e do plantio forem voltados à colheita mecanizada, melhorando o micro relevo e facilitando o deslocamento uniforme e preciso da colhedora e mecanismo de corte basal, somente assim, possivelmente, observar-se-á resultados com maiores índices qualitativos.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhedora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 86. Altura de corte - cm: carta de controle por tratamento.

Quando se analisa a frequência da altura de corte pode-se observar que o tratamento 1 foi o pior deles, com 36% da altura até 5 cm e 40% até 10 cm, sendo que 24% estiveram acima desse ponto. O tratamento 2 esteve com 64% até 5 cm e 17% até 10 cm, sendo que 18% estiveram acima desse limite máximo, e analisando o tratamento 3, por sua vez, apresentou o melhor resultado com 75% (média dos três cortes) até 5 cm, 22% até 10 cm e somente 3% acima de 10 cm, sendo que essa porcentagem estava mais relacionada ao corte de base do lado esquerdo da colhedora (Figura 87).

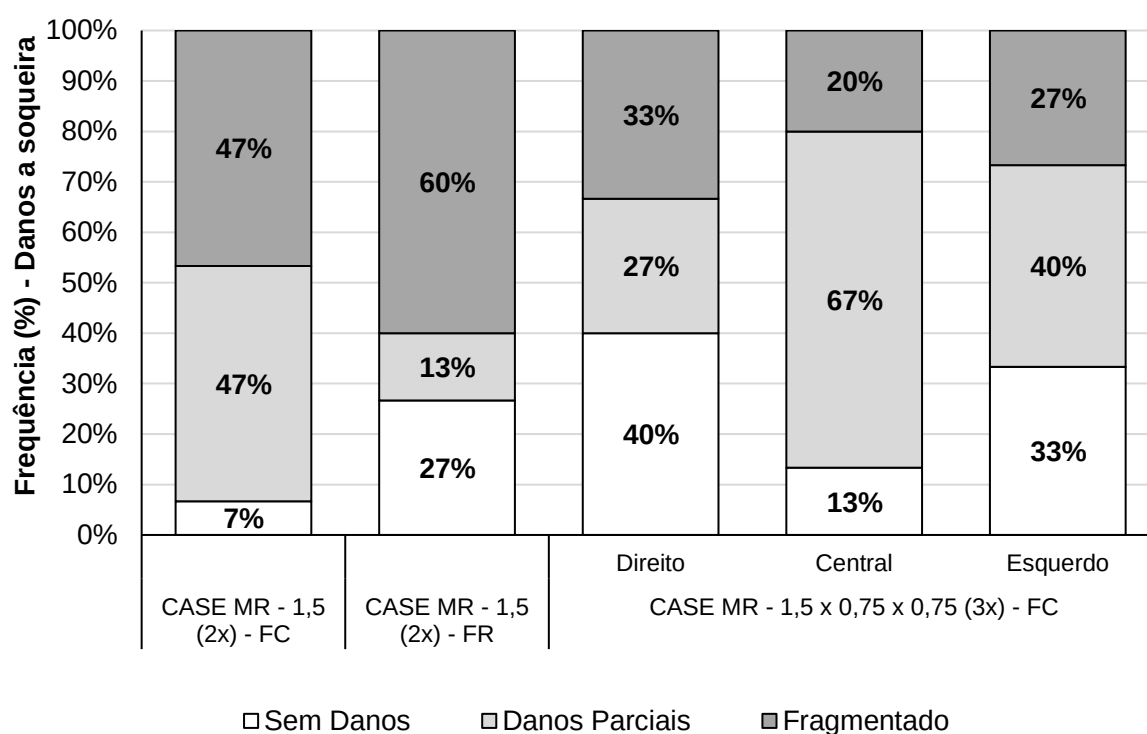


Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 87. Altura de corte - cm: frequência por tratamento

1.8.2. Danos à soqueira.

Para os danos na soqueira, o tratamento 1 apresentou resultados baixos para a definição sem danos (7%), medianos para danos parciais e fragmentados (47%). O tratamento 2 apresentou resultados melhores para sem danos (27%) e baixo para danos parciais (13%), mas a porcentagem de fragmentados foi maior (60%) e o tratamento 3 apresentou os melhores resultados novamente, sendo a média dos três cortes de base (frontais e central) 29% sem danos, 45% danos parciais e 26% fragmentados (Figura 88).

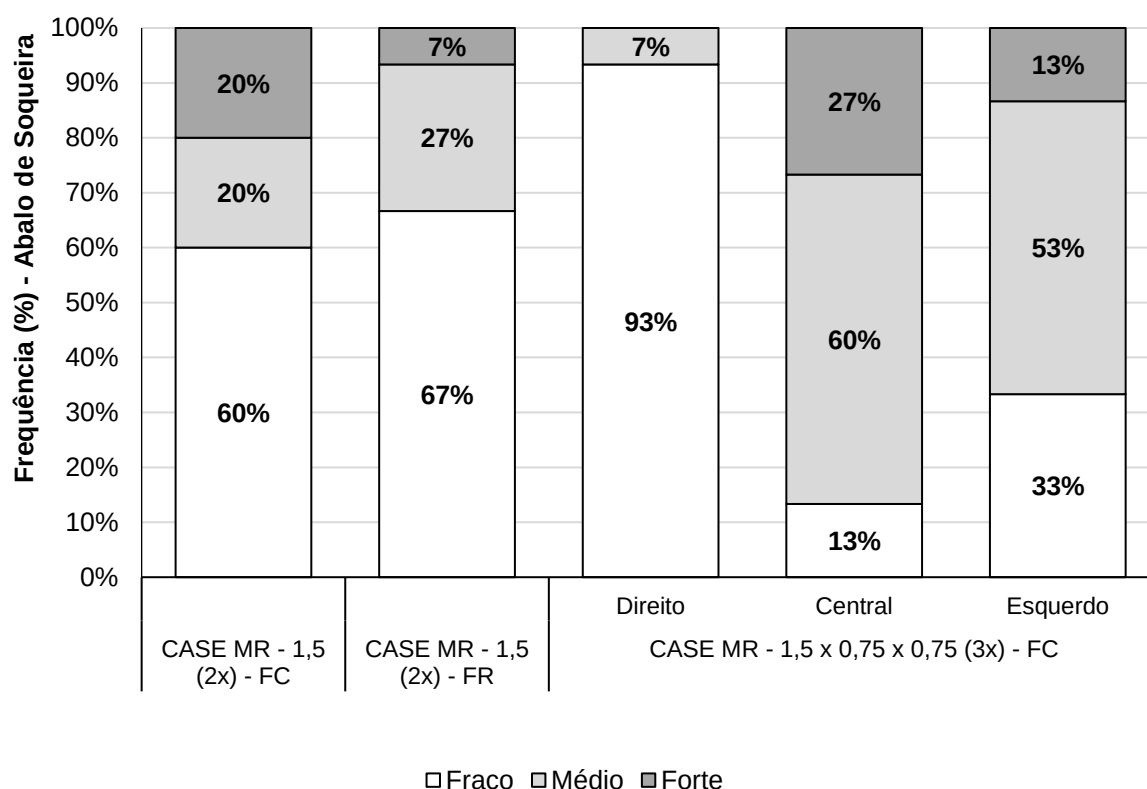


Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 88. Danos à soqueira: frequência por tratamento

1.8.3. Abalo de soqueira.

Com relação ao abalo de soqueira, podemos notar que as máquinas colhendo duas fileiras obtiveram melhor resultado que a máquina colhendo três e que a máquina com faca recolhadora (tratamento 2) foi melhor que as demais. Novamente observamos que o disco de corte basal esquerdo apresentou resultados piores na colheita do triplo alternado (Figura 89).

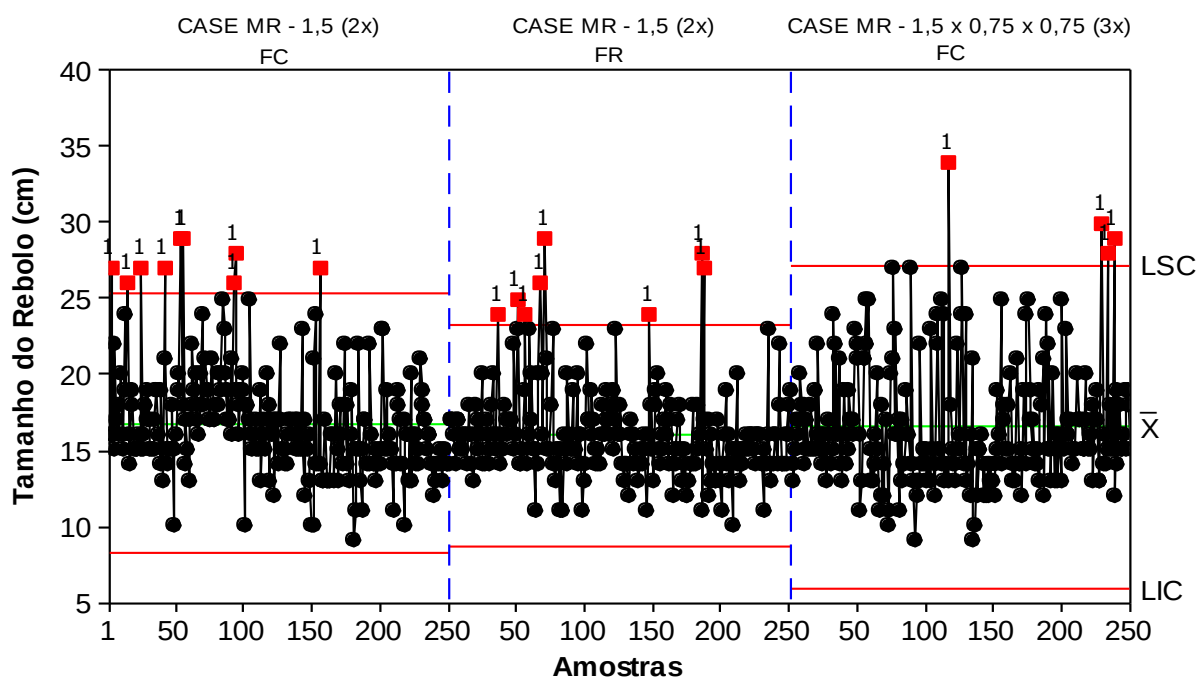


Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 89. Abalo de soqueira: frequência por tratamento

1.9. Tamanho e cisalhamento de rebolos.

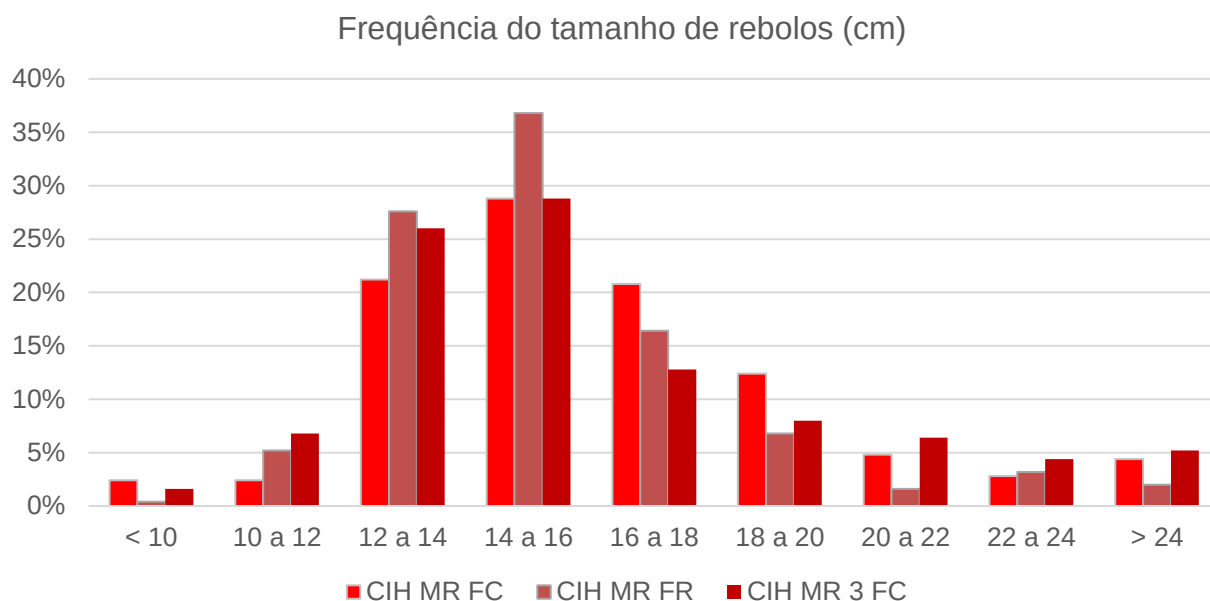
Na carta de controle de tamanho de rebolos, muitos pontos estão acima do limite máximo, mostrando ser um ponto de atenção, mas sabemos que esse comportamento é comum principalmente quando a quantidade de biomassa que a colhedora de cana está processando é alta, em outras palavras, produtividade elevadas de canavial e colheita de múltiplas fileiras (Figura 90). Porém pode-se considerar que o processo estava sob controle, principalmente pela grande quantidade de amostras para as repetições que totalizaram 250 amostragens.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 90. Tamanho de rebolo - cm: carta de controle por tratamento.

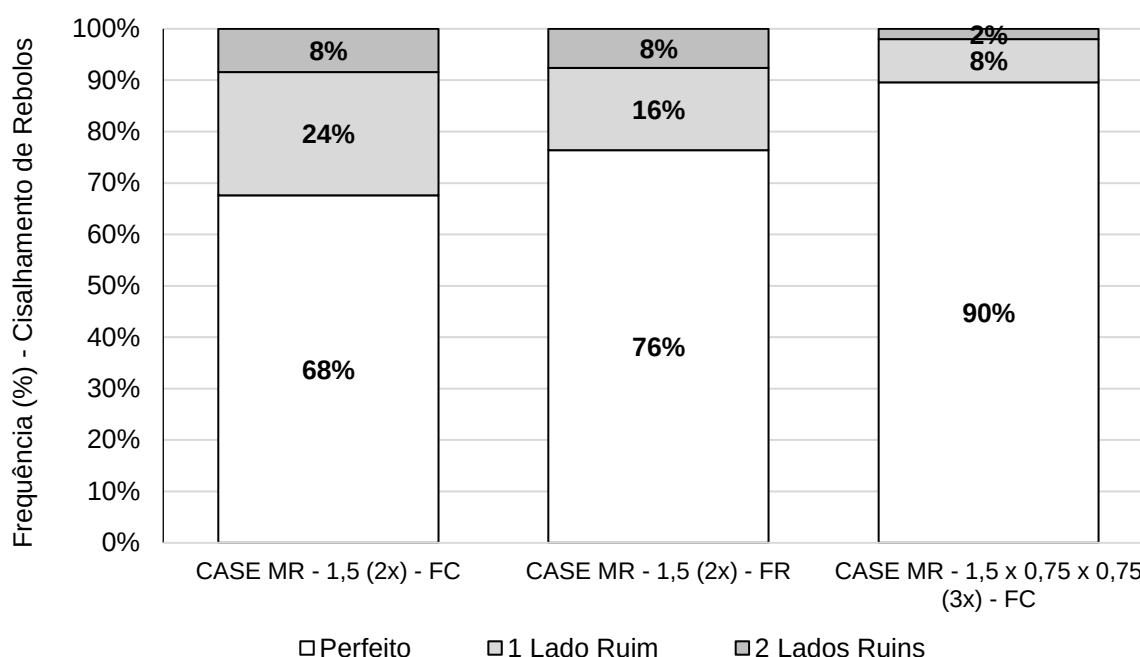
Nota-se que como o ensaio foi realizado com a mesma máquina para todos os tratamentos, quando avaliamos a frequência de tamanho de rebolos (Figura 91) o comportamento é muito semelhante para todos os tratamentos com maior concentração entre 12 a 18 cm, considerado um número muito bom.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo três fileiras de espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 91. Tamanho de rebolos - cm: frequência por tratamento.

Analisando a frequência de cisalhamento de rebolos, o tratamento 3 foi o melhor deles, seguido do tratamento 2 e do tratamento 1, conforme Figura 92. Todos eles estavam com índices satisfatórios para essa variável.



Tratamentos: Case MR 1,5 (2x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca de corte; Case MR 1,5 (2x) – FR: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,5 m com faca recolhadora; Case MR (3x) – FC: colhedora Case IH A8800 *Multi-row* em espaçamento triplo de 0,75 m com faca de corte.

Figura 92. Cisalhamento de rebolos: frequência por tratamento

1.10. Considerações gerais.

Na Tabela 13 e 14 pode-se observar todos os resultados obtidos no ensaio e discutidos anteriormente com as devidas análises estatística.

Na tabela 13 estão apresentados os resultados relacionados a classificação da cultura e área de trabalho, do desempenho operacional por meio das capacidades de colheita, da qualidade de colheita demonstrados por meio de das matérias estranhas vegetal e mineral, as perdas de matéria-prima subdivididas por classificação e totais e o consumo de combustível.

Tabela 13. Resumo dos resultados do ensaio: Cerradinho Bio – Chapadão do Céu/GO

SEGMENTO	Parâmetro*	Unid.	CASE MR – 1,5 (2x) - FC	CASE MR - 1,5 (2x) - FR	CASE MR – 1,5 x 0,75 x 0,75 (3x) - FC
Condições	Produtividade Agrícola	t ha ⁻¹	106,8 b	103,48 b	124,92 a
	Teor de água do solo	%	11,74 a	14,53 a	14,95 a
	Velocidade estimada	km h ⁻¹	1,46 b	1,84 a	1,62 ab
Capacidade	Capacidade de colheita - Bruta	t h ⁻¹	47,16 b	57,39 a	60,15 a
	Capacidade de colheita - Líquida		39,21 b	51,99 a	53,68 a
Qualidade	Matéria estranha vegetal	%	5,18 a	4,43 a	4,31 a
	Matéria estranha mineral		4,16 a	0,82 b	1,01 b
	Matéria estranha total		9,34 a	5,24 b	5,32 b
	Perdas de rebolos	t ha ⁻¹	0,67 ab	0,58 ab	0,92 b
	Perdas de tocos		2,4 a	1 b	1,33 ab
	Perdas de estilhaços		0,83 a	0,54 ab	0,45 ab
	Perdas de colmos soltos		5,22 a	2,51 bc	4,45 ab
	Perdas de colmos fixos		-	-	-
	Perdas totais		9,12 a	4,63 b	7,15 ab
	Perdas de rebolos	%	0,64 ab	0,55 ab	0,73 b
	Perdas de tocos		2,31 a	0,94 b	1,07 ab
	Perdas de estilhaços		0,79 a	0,52 ab	0,35 b
	Perdas de colmos soltos		4,9 a	2,36 b	3,52 ab
	Perdas de colmos fixos		-	-	-
	Perdas totais		8,65 a	4,37 b	5,68 ab
	Eficácia de manipulação	%	91,35 b	95,63 a	94,32 ab
Consumo	Consumo de combustível - Bruto	L h ⁻¹	56,57 b	69,31 a	61,66 b
	Consumo de combustível - Bruto	L t ⁻¹	1,23 a	1,21 a	1,03 b
	Consumo de combustível - Líquido		1,49 a	1,34 ab	1,15 b

* Letras distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos. A letra “a” indica o maior valor, “b” o segundo e assim sucessivamente.

CASE MR – 1,5 (2x) – FC = Multi Row / 2 fileiras de 1,5 m / Facas cortadoras; **CASE MR – 1,5 (2x) – FR**: Multi Row / 2 fileiras de 1,5 m / Facas recolhedoras; **CASE MR – 1,5 x 0,75 x 0,75 (3x) – FC** = Multi Row / 3 fileiras de 0,75 m / Facas recolhedoras

Na tabela 14 pode-se observar um resumo de todos os resultados até então apresentados com relação a qualidade de corte de base e do picador, representadas por meio da altura de corte, danos e abalo na soqueira e tamanho e índice de cisalhamento de rebolos.

Tabela 14. Resumo das frequências de avaliação dos mecanismos de corte de base e picador do ensaio: Cerradinho Bio – Chapadão do Céu/GO

Mecanismo	Parâmetro	Intervalo/ Classificação	CASE MR - 1,5 (2x) - FC	CASE MR - 1,5 (2x) - FR	CASE MR - 1,5 x 0,75 x 0,75 (3x) - FC		
					Dir*	Cent	Esq
Corte de base	Altura de corte (cm)	0 a 5	36%	64%	85%	60%	79%
		5 a 10	40%	17%	15%	37%	13%
		10 a 15	20%	17%	-	1%	1%
		15 a 20	3%	1%	-	-	4%
		> 20	1%	-	-	1%	3%
	Danos à soqueira	Sem Danos	7%	27%	40%	13%	33%
		Danos Parciais	47%	13%	27%	67%	40%
		Fragmentado	47%	60%	33%	20%	27%
	Abalo de soqueira	Fraco	60%	67%	93%	13%	33%
		Médio	20%	27%	7%	60%	53%
Forte		20%	7%	-	27%	13%	
Picador	Tamanho de rebolo	< 10	2%	0%	2%		
		10 a 12	2%	5%	7%		
		12 a 14	21%	28%	26%		
		14 a 16	29%	37%	29%		
		16 a 18	21%	16%	13%		
		18 a 20	12%	7%	8%		
		20 a 22	5%	2%	6%		
		22 a 24	3%	3%	4%		
		> 24	4%	2%	5%		
	Cisalhamento de rebolo	Perfeito	68%	76%	90%		
		1 Lado Ruim	24%	16%	8%		
		2 Lados Ruins	8%	8%	2%		

*Dir = Corte de base direito / Esq = Corte de base esquerdo **CASE MR – 1,5 (2x) – FC** = Multi Row / 2 fileiras de 1,5 m / Facas cortadoras; **CASE MR – 1,5 (2x) – FR**: Multi Row / 2 fileiras de 1,5 m / Facas recolhedoras; **CASE MR – 1,5 x 0,75 x 0,75 (3x) – FC** = Multi Row / 3 fileiras de 0,75 m / Facas recolhedoras

1.11. Conclusões.

O tratamento 2 e o tratamento 3 apresentaram os melhores resultados quando comparados com o tratamento 1 para todas as variáveis.

Para as análises de velocidade de colheita, capacidade de campo, eficácia de manipulação, matéria estranha minerais e vegetais, ambos apresentaram resultados iguais estatisticamente. A diferença que houve entre eles foi com relação ao consumo de combustível em $L\ h^{-1}$ e $L\ t^{-1}$ na capacidade efetiva bruta que para a colheita do espaçamento triplo alternado (tratamento 3) apresentou resultados melhores e inferiores ao tratamento 2, porém quando analisado o consumo na capacidade efetiva líquida esses se igualam.

As perdas foram menores para o tratamento 2 que pode ser equiparado com o tratamento 3, porém diferente do tratamento 1, sendo que as perdas que se destacaram para diferenciar o tratamento 1 do 2 foram referentes à tocos e colmos soltos, mostrando que a faca recolhadora tem uma ação direta nesse segundo tipo de perda.

Com relação as matérias estranhas mineral e vegetal, a primeira houve diferença significativa entre o tratamento 1 e os demais e a segunda foi semelhante para todos os tratamentos.

Quando comparados o tratamento 1 e o tratamento 2, fica evidente que o uso de facas recolhadoras ao invés de facas de corte para a colheita de duas fileiras de espaçamento simples de 1,50 m é a melhor configuração para a máquina. Nessa situação ela foi capaz de colher à uma velocidade maior o que trouxe ganhos na capacidade de campo efetiva bruta e líquida com menores perdas.

Entre os tratamentos, o 2 foi melhor que o 1, mostrando que a configuração com o uso de facas recolhadoras foi melhor e que o tratamento 3 com a colheita de três fileiras de 0,75 m de espaçamento entre elas, deve ser uma opção a ser estudada sob a óptica de produtividade no ciclo de cinco anos de safra. Mais avaliações de desempenho de colhedoras nessa situação devem ser conduzidas, pois apresentou resultados satisfatórios de colheita e melhores em consumo de combustível.

Para a altura de corte, os tratamentos 2 e 3 obtiveram melhores resultados seguido pelo tratamento 1.

Os danos a soqueira, o tratamento 2 apresentou maior número de soqueiras fragmentadas seguido pelo tratamento 1 e depois o tratamento 3. Já o abolo de soqueira todas tiveram um comportamento semelhante.

O tamanho e cisalhamento de rebolos, foi semelhante para todos os tratamentos.

1.12. Referências.

BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo em três colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BELARDO, G. C. Novidades Case IH na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. In: **SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 15.**, 2013, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto, 2013. <http://www.ideaonline.com.br/materiais/>

BELARDO G. C.; RIPOLI T. C. C. Avaliação da colheita mecanizada – Desempenho de colhedoras de cana. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

CARDOSO, G.B.C. **Aplicação de dessecante na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para colheita mecanizada**. 2011. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciências. Área de concentração: Máquinas agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf

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

MOLINA JUNIOR, W.F. **Proposta de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2000. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

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

NEVES J. L. M. **Avaliação da colheita mecanizada – Determinação de impurezas minerais e vegetais**. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. *Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

NEVES J. L. M. **Avaliação da colheita mecanizada – Avaliação de perdas quantitativas na colheita de cana-de-açúcar**. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. *Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

ROSA J. H. M. **Avaliação de desempenho efetivo e econômico de uma colhedora em espaçamento duplo alternado**. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013

ROSA J. H. M.; MILAN M. Corte, transbordo e transporte (CTT) – Aspectos relevantes e uso de modelagem para CTT. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

ROSA J. H. M.; MELO. M. O.; BELARDO G. C. Corte, transbordo e transporte (CTT) – Uso de transbordo na colheita mecanizada e seus impactos no CTT. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

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. **Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para fins energéticos**. 2004. 213p. Tese (Doutorado em Agronomia. Área de concentração: Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

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

TESTA, J. V. P. **Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para uma e duas linhas da cultura**. 2014. 43f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – UNESP, Botucatu, 2014.

TOLEDO, A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A. Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. **Scientia Agricola**, v.70, n.6, 2013, p. 384 – 389.

TOLEDO, A. **Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2012. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos verificar na Figura 93 que a capacidade efetiva bruta de matéria-prima dos ensaios realizados ficou dentro de índices aceitáveis, em especial os resultados dos ensaios realizados no espaçamento duplo alternado, sendo que colhendo a uma velocidade de colheita mais adequada e menor, entre 3,0 e 4,5 km h⁻¹ obteve índices semelhantes aos ensaios de colheita de uma fileira colhendo entre 5,0 e 6,0 km h⁻¹ entre 69,0 e 106,0 t h⁻¹ conforme Cardoso (2011); Belardo (2010); Ripoli (2004); Meyer (2001); Furlani Neto (1995). Quando as colhedoras de uma fileira trabalham a uma velocidade acima de 6,0 km h⁻¹ nota-se que a capacidade de campo efetiva atinge níveis acima de 100,0 t ha⁻¹. Quando consegue-se atingir velocidades acima de 4,5 km h⁻¹ e altas produtividades observa-se que colhendo duas fileiras consegue-se atingir níveis ainda mais elevados chegando a mais de 150,0 t h⁻¹ como demonstrado por Rosa (2013).

Colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,50 m e o “triplo alternado” os índices de capacidade efetiva bruta ficaram entre 50,0 e 60,0 t h⁻¹, correlacionado principalmente ao porte do canavial acamado que dificulta o deslocamento da máquina a uma maior velocidade. Observa-se, porém, que o resultado de Testa (2014) mostra que é possível atingir índices de colheita acima de 80,0 t h⁻¹ com potenciais acima de 150,0 t h⁻¹, colhendo duas fileiras simples de 1,50 m.

Ensaio realizado na usina São Martinho com o intuito de demonstrar a capacidade operacional de colhedoras de cana de uma e duas fileiras, conseguiram atingir respectivamente 148,50 t h⁻¹ colhendo uma fileira e 153,70 t h⁻¹ colhendo duas fileiras de espaçamento simples de 1,50 m, sendo um total de 3.277 e 3.383 toneladas em 24 horas totais e 22 horas de elevador em funcionamento respectivamente, considerados recordes de colheita em t máquina dia⁻¹ mostrando o potencial da colheita de uma e duas fileiras de espaçamento simples de 1,50 m (BELARDO, 2016; IKEDA, 2016).

Fica claro que existe um enorme potencial para aumento de capacidade efetiva de colheita com a adoção de colheita de espaçamentos duplos e triplos alternados ou duas fileiras de espaçamentos simples. Porém, também fica demonstrado que quando as usinas já têm uma produtividade de colhedoras por dia elevada e acima de

800 t máquina dia⁻¹, uma análise detalhada do sistema de produção deve ser realizada, pois, não necessariamente a adoção de colheita de múltiplas fileiras trará aumento significativo da capacidade de colheita das máquinas. Quando se analisa usinas que não apresentam grandes produtividades de colheita por dia, ou seja, abaixo de 500 t máquina dia⁻¹, a adoção da colheita de múltiplas fileiras pode ser uma opção para melhorar as eficiências operacionais e reduzir custos de forma mais acentuada.

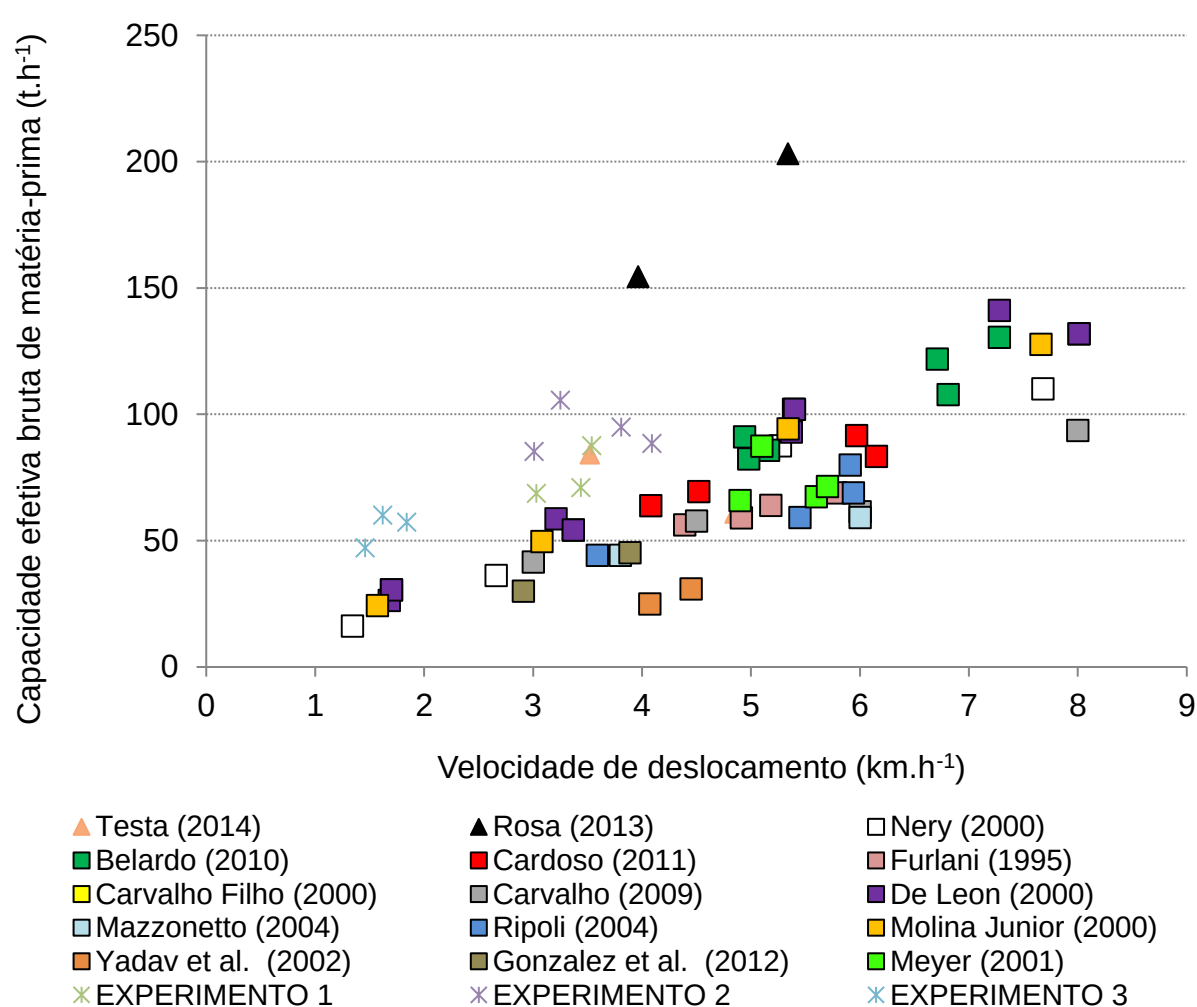


Figura 93. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Capacidade efetiva bruta de matéria-prima (t h⁻¹). Adaptado de Rosa (2014a).

Vale lembrar que outros benefícios advindos da colheita de múltiplas fileiras devem ser considerados para a tomada de decisão da sua adoção como a redução de tráfego, possibilidade de se fazer a canteirização baseado na largura de faixa de tráfego (LFT) gerando menor compactação dos solos e possível maior longevidade dos canaviais.

Entretanto, todo o canavial deve estar preparado para que o uso desse modelo possa realmente mostrar o seu potencial e benefícios, sendo que todas as operações anteriores à colheita devem ser planejadas e executadas para maximizar o potencial dessa opção, como o correto planejamento e a sistematização das áreas, o plantio e demais operações agrícolas subsequentes, o planejamento de colheita com a adequação de equipamentos e máquinas agrícolas e o planejamento logístico para suporte a essas operações.

Obviamente dificuldades serão encontradas para conseguir adotar esse sistema de colheita e talvez a principal delas seja com relação as perdas de colheita. Na Figura 94 observa-se que a maioria dos índices de perdas avaliados em $t\ ha^{-1}$ encontram-se acima de $4,0\ t\ ha^{-1}$, enquanto que as perdas da colheita de uma fileira encontram-se na maioria abaixo desse valor, sendo que boa parte deles está abaixo de $2,0\ t\ ha^{-1}$.

Esse deve ser um dos pontos de principal atenção na colheita e se busca minimiza-los por meio da correta definição de velocidade de deslocamento, treinamento dos operadores e uso das tecnologias disponíveis para as colhedoras como o controle automático de corte de base e uso de piloto automático com correção RTK visando minimizar a influência e erros do operador. Novamente é importante ressaltar que toda a tecnologia de piloto automático também deve ser adotada no conjunto trator e transbordo, pois esse tem fundamental importância no sucesso do uso de colhedoras para múltiplas fileiras.

Algumas usinas que vem adotando colheita de duas fileiras já vêm reportando ganhos da ordem de $10,0$ a $15,0\ t\ ha^{-1}$ em produtividade média e ganhos de um ano de longevidade do canavial, obviamente esse ganho não está relacionado somente ao uso da colhedora, mas sim ao sistema completo do plantio a colheita visando a canteirização. Considerando-se um ganho dessa ordem em produtividade e perdas de praticamente o dobro quando comparado com a colheita de uma fileira, uma

diferença entre 2,0 a 5,0 t ha⁻¹ a mais, o balanço final seria um ganho entre 5,0 a 10,0 t ha⁻¹ de cana a ser entregue na indústria. Novamente uma análise detalhada deve ser realizada e todos os ganhos e perdas, prós e contras colocados na balança. Chegar a perdas abaixo de 4,0 t ha⁻¹ em níveis iguais ou até menores das atuais colhedoras de uma fileira, que eventualmente já vêm acontecendo em canaviais eretos e de média a baixa produtividade na colheita de múltiplas fileiras é fundamental para evolução do sistema.

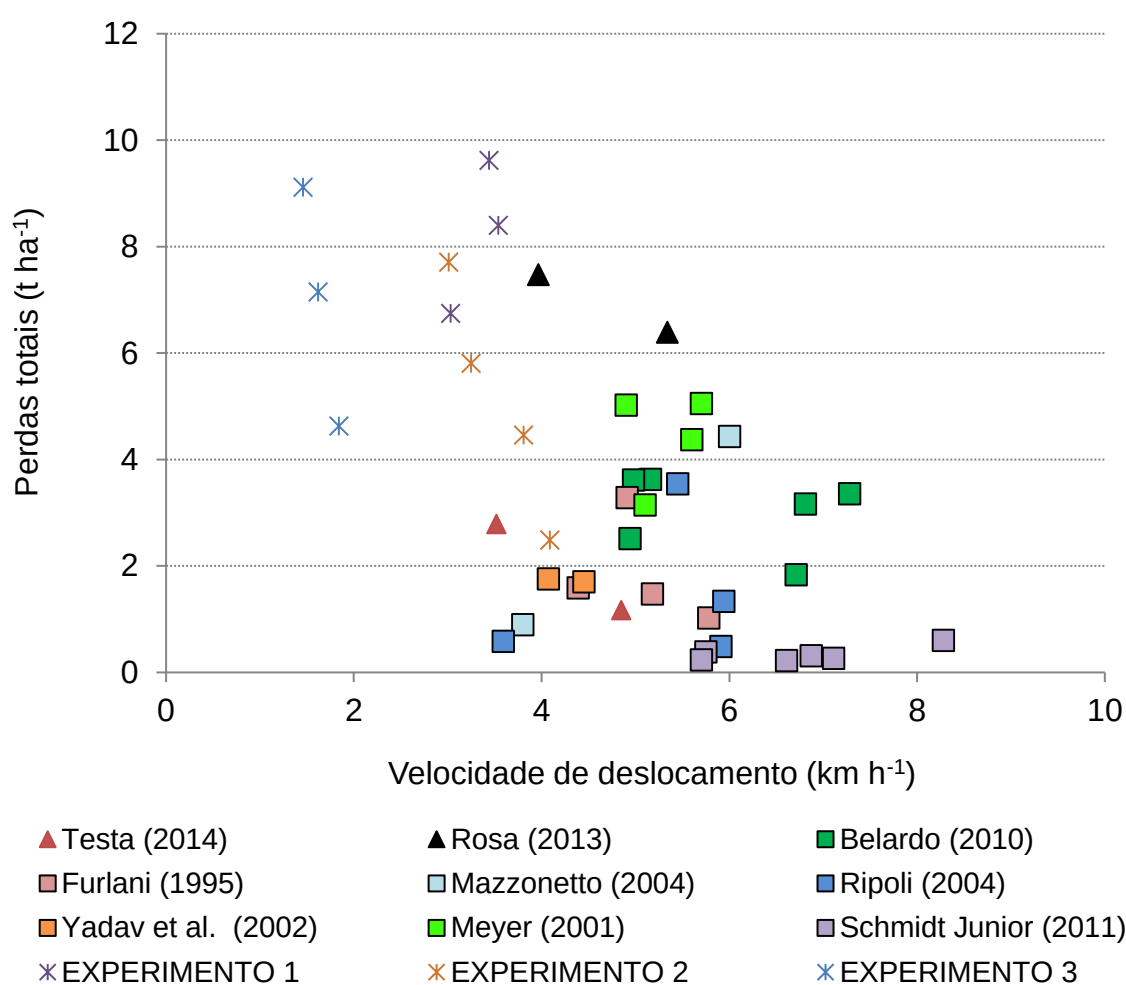


Figura 94. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Perdas totais (t ha⁻¹).

Adaptado de Rosa (2014a).

Quando avaliamos as perdas percentualmente, verificamos que os índices de perdas na colheita de fileiras duplas encontram-se semelhante aos de colheita de uma fileira, isso porque normalmente os ensaios para esse modelo de máquina foram realizados em áreas com produtividade acima de $100,0 \text{ t ha}^{-1}$. Mesmo assim nota-se que ensaios mais recentes apresentam perdas percentuais abaixo de 3% para máquinas de uma fileira conforme Cardoso (2011); Schmidt Junior (2011); Belardo (2010) e Carvalho (2009) e novamente esse deve ser o objetivo da colheita de fileiras múltiplas (Figura 95).

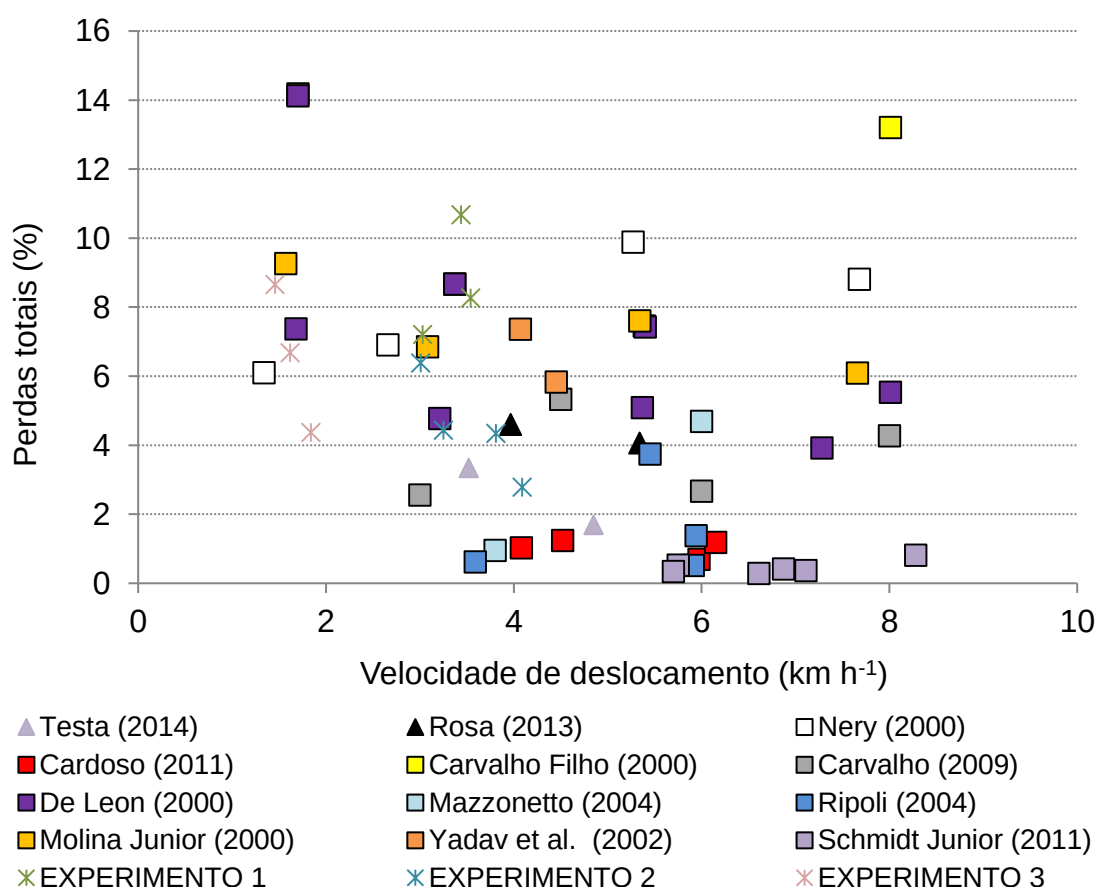


Figura 95. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Perdas totais (%).

Adaptado de Rosa (2014a).

A análise da qualidade de matéria-prima colhida também deve ser ponto de atenção especial uma vez que tem impacto na quantidade de cana-de-açúcar e

consequentemente na produção de açúcar e etanol da indústria, além de ter uma relação direta entre as manutenções no sistema industrial atrelada a maiores índices de matéria estranha mineral e vegetal.

Com relação a matéria estranha vegetal, os valores encontrados nos três ensaios mostraram níveis aceitáveis para dois deles, abaixo de 5% e em um deles apresentou níveis mais elevados. Porém quando se compara novamente esse número com os de máquinas de uma fileira, observa-se que todos encontram-se nos mesmos níveis e que, portanto, não apresentam grande diferença entre si (Figura 96).

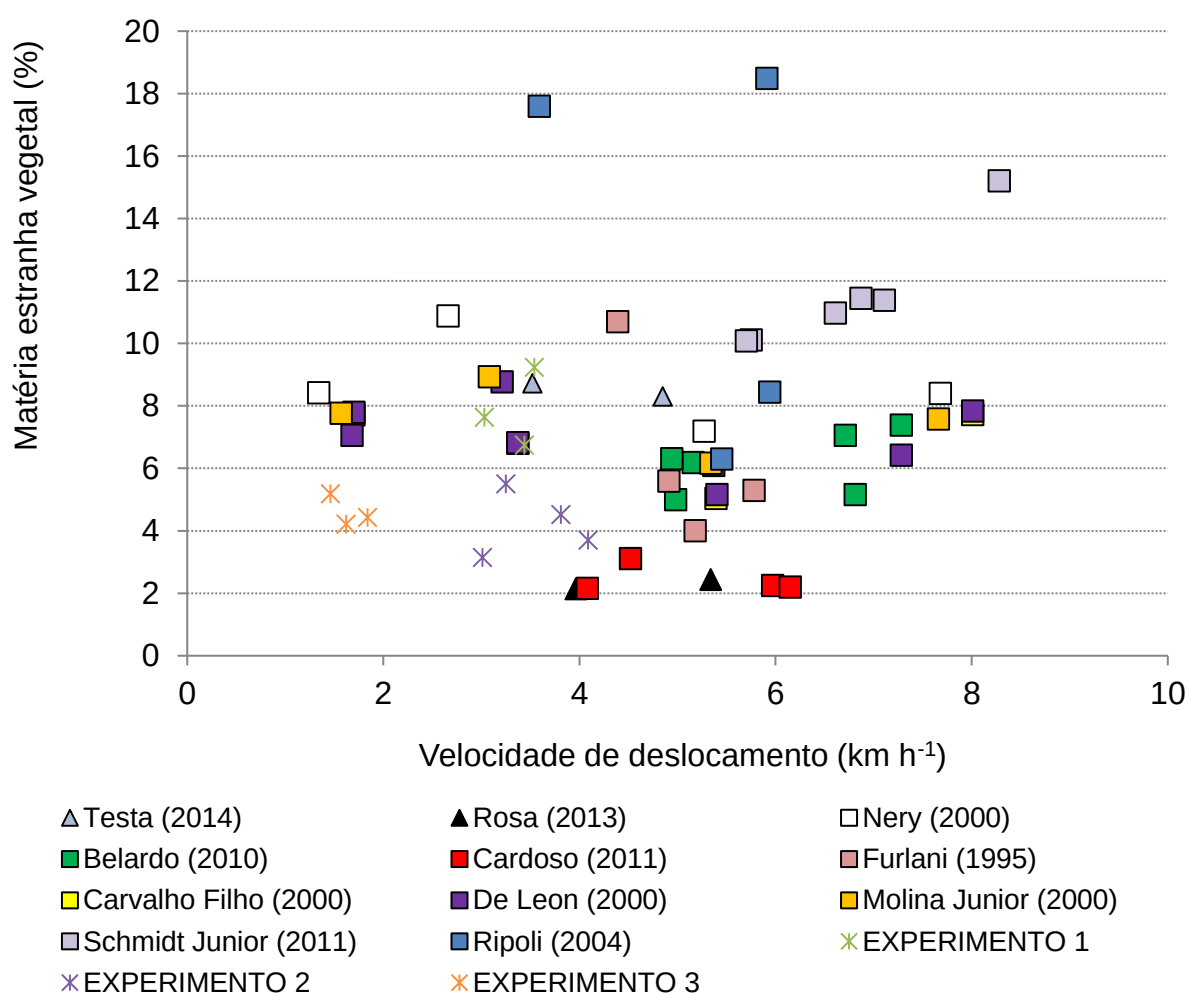


Figura 96. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Matéria estranha vegetal (%).

Adaptado de Rosa (2014a).

A matéria estranha mineral também apresentou níveis aceitáveis para a maioria dos ensaios realizados com colhedoras de duas fileiras, encontrando-se em índices semelhantes as pesquisas realizadas com colhedoras de uma fileira, estando mais de 90% deles abaixo de 1% e sendo considerados estáveis e controláveis (Figura 97).

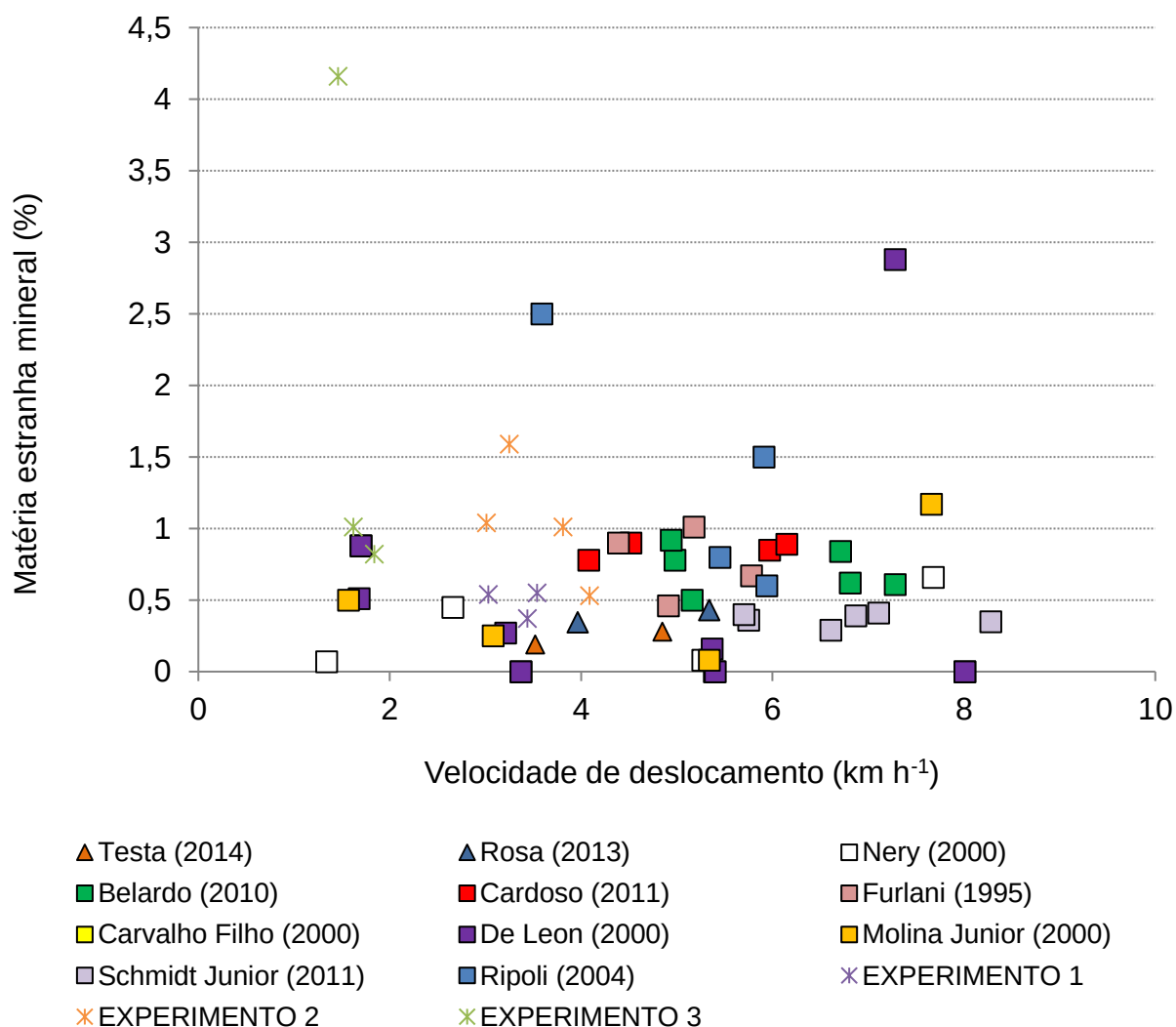


Figura 97. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Matéria estranha mineral (%).

Adaptado de Rosa (2014a).

Já o consumo de combustível em L h⁻¹, esteve em níveis abaixo de 0,90 L h⁻¹ considerados bons para os ensaios realizados com o espaçamento duplo alternado e próximos a colhedoras de uma fileira com boas eficiências que trabalharam a uma

maior velocidade. No ensaio realizado em espaçamento simples de 1,50 e triplo alternado, apresentou níveis de consumo entre 1,00 e 1,25 L h⁻¹ principalmente relacionado a baixa velocidade de deslocamento devido a característica do canavial (Figura 98). Quando se avalia o resultado de Testa (2014) trabalhando com a mesma colhedora, observa-se que o consumo se manteve em níveis abaixo de 0,6 L h⁻¹, mostrando o potencial desse conceito.

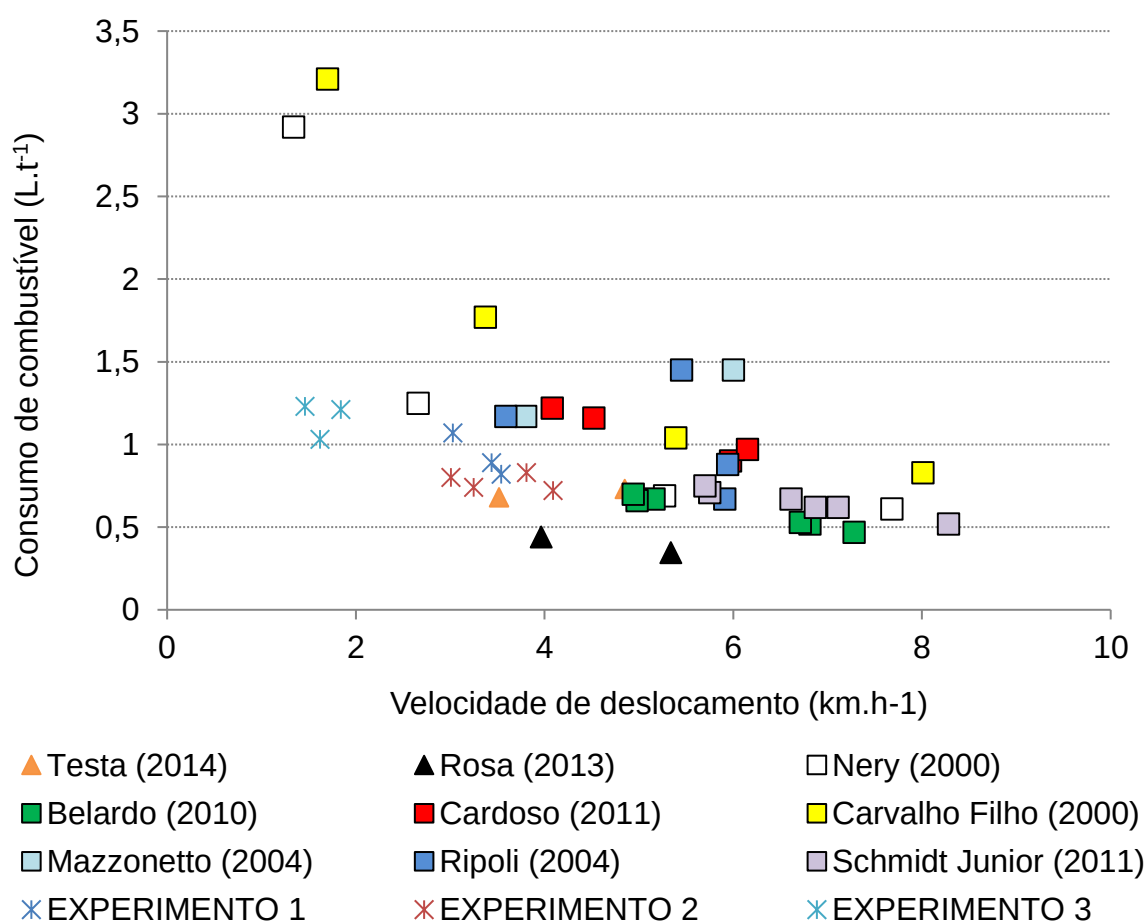


Figura 98. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Consumo de combustível (L t⁻¹).

Adaptado de Rosa (2014b).

O consumo em L h⁻¹, como era de se esperar, apresentou índices acima da maioria dos ensaios de colheita de uma fileira, afinal a demanda de potência energética da colhedora para a colheita de duas fileiras é maior e obviamente a

exigência do sistema hidráulico e do motor também, fazendo com que o consumo horário seja um pouco mais elevado, porém próximo ao consumo de colhedoras de uma fileira que foram avaliadas em canaviais de alta produtividade e em altas velocidades, casos semelhantes em que a exigência da máquina é maior (Figura 99).

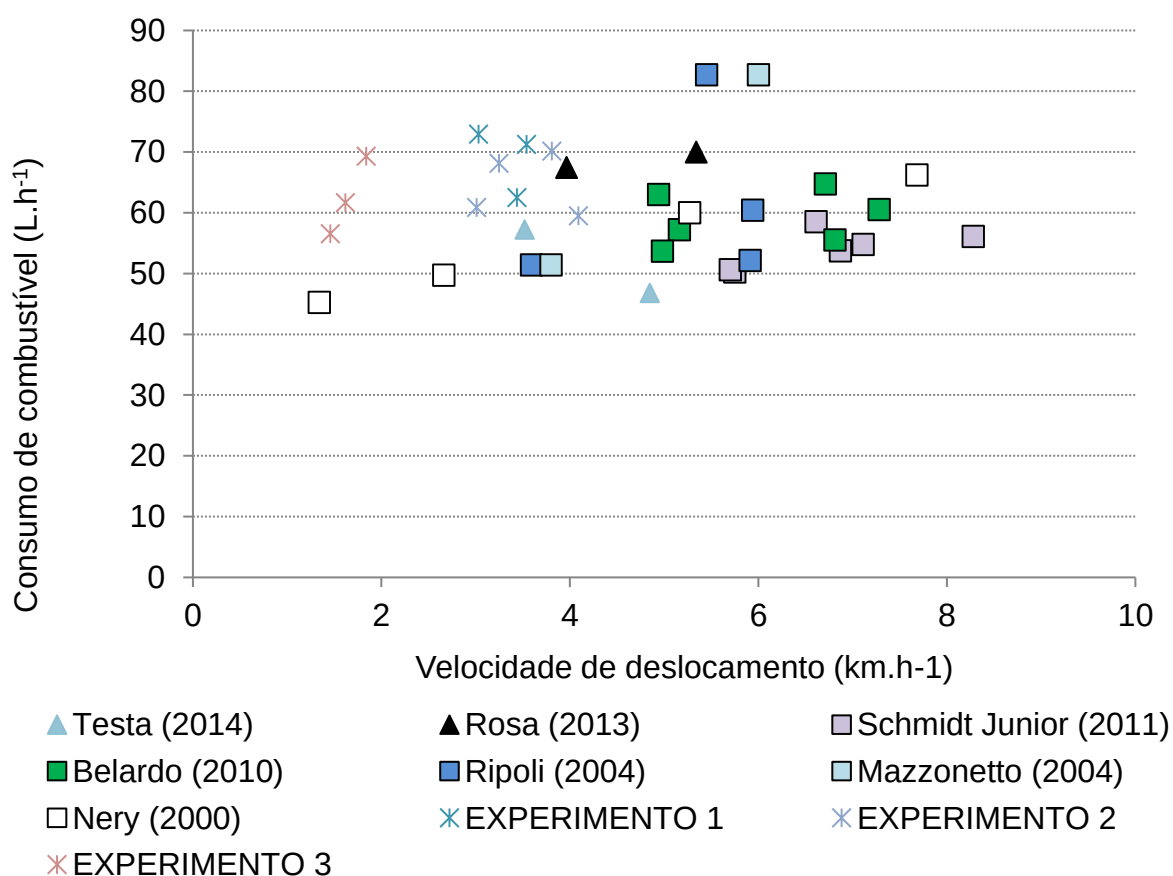
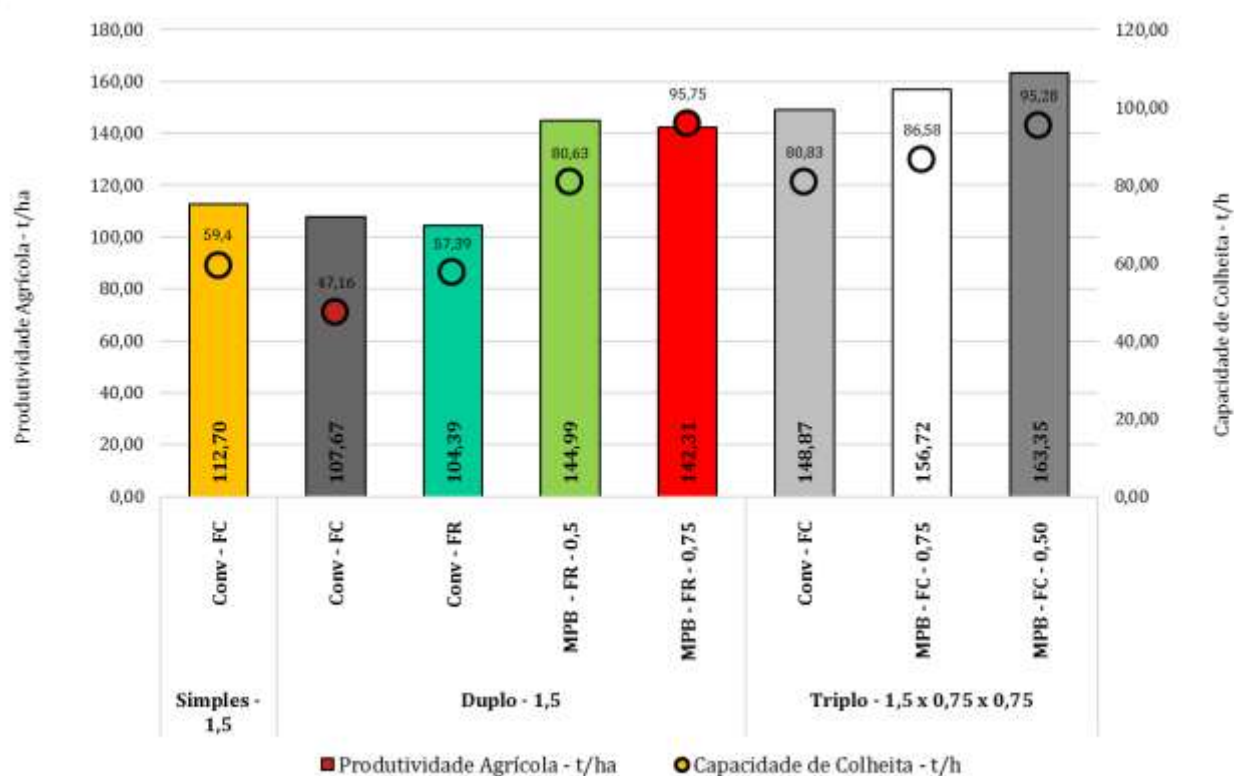


Figura 99. Comparativo de ensaios padronizados de colheita já publicados – Consumo de combustível ($L\ h^{-1}$)

Adaptado de Rosa (2014b).

Conforme podemos constatar, a colheita de múltiplas fileiras já é uma realidade, mas desafios de qualidade e eficiências vêm junto com a adoção desse sistema. Com isso novas opções de espaçamentos passam a ser analisadas e ensaios de produtividade envolvendo o uso de mecanização e máquinas é fundamental (Bernardes e Belardo, 2015).

Belardo (2015) apresentou os resultados da colheita de primeiro corte de espaçamento triplo alternado comparado com espaçamento simples realizado na usina Porto das Águas de Chapadão do Céu, GO. Nota-se que na média a produtividade desse espaçamento foi 38 % superior para plantio convencional (distribuição de toletes) e 11% para plantio de MPB (mudas pré brotadas) conforme figura 100.



Conv = Plantio convencional de toletes / MPB = Plantio de mudas pré-brotadas.

Figura 100. Comparativo de produtividade de espaçamento triplo alternado com espaçamento simples de 1,50 m em colheita de cana de primeiro corte e capacidade efetiva de colheita.

Fonte: Belardo, 2015.

Como observa-se a produtividade desse espaçamento foi interessante, mostrando-se promissor, porém é necessário que seja realizado uma análise do período de cinco a seis anos para aferição da produtividade média no período.

Nessa mesma avaliação de produtividade foi avaliado a capacidade de colheita das colhedoras, pois foi possível colher o experimento com máquinas. Como pode ser observado para as áreas com maior produtividade, a capacidade de colheita foi maior chegando a valores de até 96,0 t h⁻¹.

Esses resultados são semelhantes aos apresentados nessa pesquisa, encontrados pelos autores que analisaram colhedoras de fileiras simples e duplas, assim como foi demonstrado por Banchi et al. (2012), que avaliando o banco de dados de inúmeras usinas e levantando informações de 72 colhedoras entre 2007 e 2011, chegou a equação e informações da Figura 101.

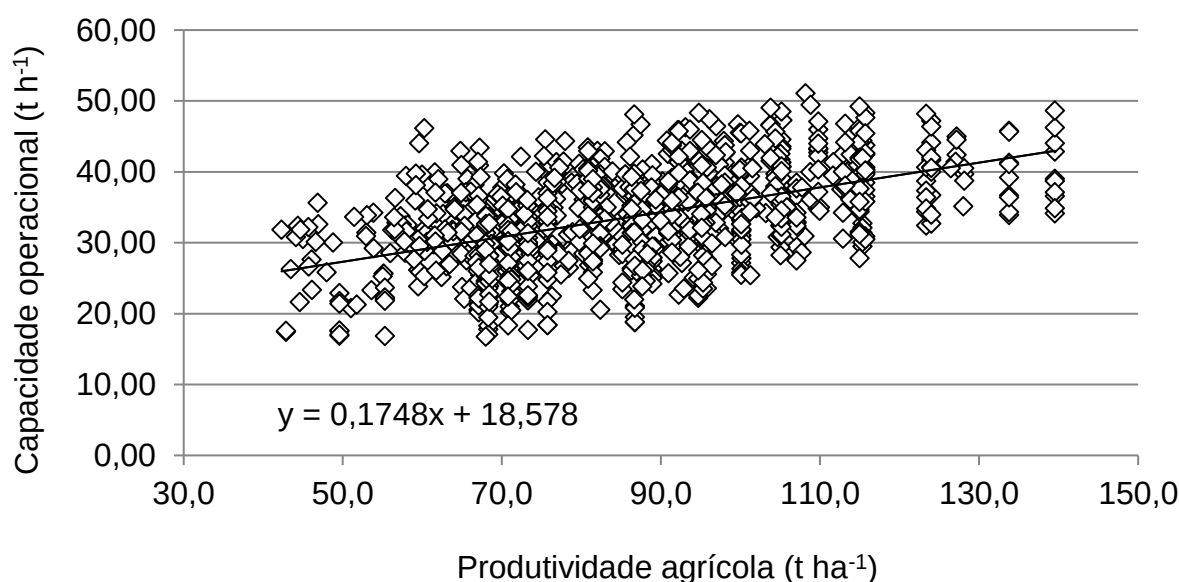


Figura 101. Capacidade operacional de colheita (t h⁻¹) em função da produtividade agrícola (t ha⁻¹).

Existe um grande potencial de crescimento de capacidade efetiva e operacional de colhedoras de cana que podem ser atingidos com o uso das melhores técnicas de planejamento e sistematização (maiores distâncias percorridas por talhão) e consequentemente o aumento do deslocamento médio de colheita e também por meio da adoção da colheita de múltiplas fileiras que apresenta resultados positivos nos indicadores de capacidade de campo, qualidade de matéria-prima, perdas e qualidade de corte de base.

Referências.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; FERREIRA, V.A.C.; MARTINS, J.M.S. Análise de índices técnicos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar na safra 2011/12. Revista Agrimotor, São Paulo, n. 72, p. 12-15, 2012.

BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo em três colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima**. 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BELARDO, G. C. PAISS Agrícola: Sucesso na Busca por Novas Tecnologias. In: ETHANOL SUMMIT 2015., 2015, São Paulo. Anais... São Paulo, 2015. Em <<http://ethanolsummit.com.br/wp-content/uploads/2015/07/4-Guilheme-Ethanol-Summit-2015-Final.pdf>>

BELARDO, G. C. Colheita mecanizada em espaçamentos múltiplos. In: **WORKSHOP DE COLHEITA DE CANA CRUA, 1., 2016**, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal, 2016.

BERNARDES, M.S; BELARDO G. C. Espaçamento de plantio para a cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

CARDOSO, G.B.C. **Aplicação de dessecante na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para colheita mecanizada**. 2011. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciências. Área de concentração: Máquinas agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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

CARVALHO, L. de S. **Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua na Região da Grande Dourados – MS**. 2009. 36p. Dissertação (Mestrado em Agronomia. Área de concentração: Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2009.

DE LÉON, M.J. **Avaliação de desempenho operacional de duas colhedoras em cana (*Saccharum spp.*) crua**. 2000. 112p. Dissertação (Mestrado em Agronomia. Área de concentração: Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

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. 1995.

IKEDA, R. Sistema de colheita X espaçamento (Case IH). In: **WORKSHOP DE COLHEITA DE CANA CRUA**, 1., 2016, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal, 2016.

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

MEYER, E. The performance of machinery for mechanical harvesting and loading of sugarcane. In: **Annual Congress of the South African Sugarcane Technologies Association (SASTA)**, 75, Proceedings... 2001. Disponível em: http://www.sasta.co.za/wpcontent/uploads/Proceedings/2000s/2001_meyer_THE%20PERFORMANCE%20OF%20MACHINERY.pdf. Acesso em: 15 dez. 2012.

MOLINA JUNIOR, W.F. **Proposta de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2000. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

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

REIS, G. N. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

RIPOLI, M.L.C. **Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para fins energéticos**. 2004. 213p. Tese (Doutorado em Agronomia. Área de concentração: Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

RIPOLI, T.C.C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ 1996. p. 635-674.

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.

ROSA, J.H.M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em espaçamento duplo alternado**. 2013. 153f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

ROSA J. H. M.; RIPOLI T. C. C.; JUNIOR C. D. G. Desempenho Efetivo e Econômico de uma Colhedora de Cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em Espaçamento Duplo Alternado. **VI Simpósio de tecnologia de produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2014.

ROSA J. H. M.; RIPOLI T. C. C.; JUNIOR C. D. G. Influência da Velocidade de Deslocamento no Desempenho Efetivo e Econômico de uma Colhedora de Cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em Espaçamento Duplo Alternado. **VI Simpósio de tecnologia de produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2014.

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

TESTA, J. V. P. **Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para uma e duas linhas da cultura**. 2014. 43f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – UNESP, Botucatu, 2014.

YADAV, R.N.S.; SHARMA, M.P.; KAMTHE, S.D.; TAJUDDIN, A.; SANDEEP YADAV; TEJRA, R.K. Performance evaluation of sugarcane chopper harvester. **Sugar Tech**, Índia, v. 4, n. 3/4, p. 117-122, 2002.