

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

**DESGASTE DAS FACAS DO CORTE DE BASE NA COLHEITA
MECANIZADA AFETANDO O CRESCIMENTO E A
PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR**

LUCAS ALMEIDA DE HOLANDA

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para a obtenção
do título de Doutor em Agronomia
(Agricultura)

BOTUCATU-SP

ABRIL de 2016

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

**DESGASTE DAS FACAS DO CORTE DE BASE NA COLHEITA
MECANIZADA AFETANDO O CRESCIMENTO E A
PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR**

LUCAS ALMEIDA DE HOLANDA

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para a obtenção
do título de Doutor em Agronomia
(Agricultura)

BOTUCATU-SP
ABRIL de 2016

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

H722d Holanda, Lucas Almeida de, 1987-
Desgaste das facas do corte de base na colheita mecanizada afetando o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar/ Lucas Almeida de Holanda. - Botucatu : [s.n.], 2016
viii, 67 f. : fots. color., grafs., ils., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Marcelo de Almeida Silva
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Colheita. 2. Cana-de-açúcar - Espaçamento. 3. Mecanização agrícola. 4. Cana-de-açúcar - Perda durante a colheita. I. Silva, Marcelo de Almeida. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DESGASTE DAS FACAS DO CORTE DE BASE NA COLHEITA MECANIZADA AFETANDO O CRESCIMENTO E A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR"

AUTOR: LUCAS ALMEIDA DE HOLANDA

ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

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


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Prof. Dr. PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO

Diretoria / FCAT - Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas / UNESP


Prof. Dr. DIEGO HENRIQUES DOS SANTOS

CODASP Cia de Desenvolvimento Agrícola de SP


Prof. Dr. FELIPE BARROS MACEDO

USP - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos


PROF. DR. MARCOS SILVEIRA BERNARDES

Departamento de Agricultura / ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ - USP

Botucatu, 26 de abril de 2016.

A Renata de Almeida Sá, que
cumpru sua missão tão rapidamente e nos deixou com
imensa saudade.

OFEREÇO

Aos meus pais, José Clóvis e
Célia, pelo amor, exemplo, dedicação e sacrifícios que
fizeram por mim.

A Maria Clara, pelo amor e por
representar o início de uma nova fase na minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade e infinita misericórdia.

Ao Professor Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela ajuda, orientação, paciência e amizade.

As empresas Brasil Cana e PHD, em especial ao André Carrega e ao Eng. Agr. Hamilton Rosseto, dos quais sem o apoio esse trabalho não seria realizado. Ao Eng. Agr. Robson Stati, pela grande ajuda na execução do trabalho. A todos os funcionários que contribuíram para a realização do experimento.

A todos os amigos feitos em Botucatu, pelo apoio e companheirismo, em especial aos componentes da República Alagoas, atuais (Elvis, Marcos Liodório, Anderson Ravanny, Davi, Thalysson, Janaylton), egressos (Magno, Elizeu, Gabriel, Kaled, Rodolpho, Givaldo, Henrique) e agregados (Garotinho, Renato, Maurício).

Aos amigos componentes do LECA (Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura) por toda ajuda concedida na execução do experimento, especialmente José Gerardo, Breno Kenedy, Rodrigo Oliver, Marcela Brunelli, Gabriel Germino, Leandro Bianchi, Paula Caroline, Alexandrius Barbosa.

A todos os membros da biblioteca do "Lageado", que foi meu principal local de trabalho durante o doutorado, pela simpatia e amizade.

À bibliotecária Maísa França pela ajuda com as referências bibliográficas.

À pesquisadora Maria Márcia Pereira Sartori pela fundamental ajuda com a estatística.

A minha namorada, Maria Clara, pelo companheirismo, incentivo e amor dedicado.

Aos meus pais, José Clóvis e Célia, por todo amor, incentivo e dedicação, sem os quais seria muito difícil concluir essa tarefa.

A Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP de Botucatu, da qual tenho muito orgulho e satisfação de ter feito parte.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos e parte dos recursos financeiros para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
1. RESUMO	1
2. SUMMARY	2
3. INTRODUÇÃO	3
4. REVISÃO DE LITERATURA	5
4.1. O setor sucroenergético	5
4.2. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar	6
4.2.1. Histórico da colheita mecanizada da cana-de-açúcar	7
4.2.2. Sistemas de colheita de cana-de-açúcar.....	8
4.2.3. Operações da colheita mecanizada	9
4.3. Perdas e impurezas.....	12
4.4. Espaçamento	15
4.5. Efeitos da colheita mecanizada no perfilhamento, produtividade e longevidade da cana-de-açúcar.....	16
5. MATERIAL E MÉTODOS	18
5.1. Caracterização das áreas experimentais.....	18
5.2. Caracterização do experimento.....	19
5.3. Primeira colheita	20
5.3.1. Desgaste das facas	20
5.3.2. Porcentagem de falhas e número de colmos.....	21
5.3.3. Qualidade de corte	22
5.3.4. Perdas visíveis no campo (totais e tocos)	23
5.3.5. Tocos abalados	23
5.4. Desenvolvimento da cultura	24
5.4.1. Porcentagem de falhas, tamanho de falhas, número de perfilhos e altura da planta	24
5.5. Segunda colheita	25
5.6. Análise estatística	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6.1. Primeira colheita	26
6.1.1. Área 1	26
6.1.1.1. Desgaste das facas do corte de base	26

6.1.1.2.	Porcentagem de falhas no canavial.....	27
6.1.1.3.	Número de colmos antes e número de tocos após a colheita.....	29
6.1.1.4.	Qualidade do corte.....	31
6.1.1.5.	Perdas no campo, perdas por toco e abalo do toco.....	32
6.1.2.	Área 2	35
6.1.2.1.	Desgaste das facas do corte de base	35
6.1.2.2.	Porcentagem de falhas	36
6.1.2.3.	Número de colmos antes e número de tocos após a colheita.....	38
6.1.2.4.	Qualidade do corte.....	39
6.1.2.5.	Perdas totais, perdas por toco e abalo de toco	41
6.2.	Desenvolvimento da cultura e segunda colheita.....	43
6.2.1.	Área 1	43
6.2.1.1.	Porcentagem de falhas	43
6.2.1.2.	Tamanho das falhas	45
6.2.1.3.	Número de perfilhos	46
6.2.1.4.	Altura das plantas	47
6.2.1.5.	Produtividade.....	49
6.2.2.	Área 2	51
6.2.2.1.	Porcentagem de falhas	51
6.2.2.2.	Tamanho das falhas	52
6.2.2.3.	Número de perfilhos	54
6.2.2.4.	Altura das plantas	55
6.2.2.5.	Produtividade.....	57
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
8.	CONCLUSÕES	60
9.	REFERÊNCIAS	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Datas das avaliações	24
Tabela 2. Medianas e comparação das médias gerais de porcentagem de falhas antes e depois da passagem da colhedora na área 1.	28
Tabela 3. Medianas e comparação das médias gerais de número de colmos antes da passagem da colhedora e número de tocos após a passagem da colhedora na área 1.	30
Tabela 4. Teste qui-quadrado para comparação da qualidade do corte nas horas de trabalho da colhedora na área 1.	32
Tabela 5. Medianas das porcentagens de perdas de matéria prima no campo totais e por toco na área 1.	33
Tabela 6. Medianas e comparação das médias gerais de porcentagem de falhas antes e depois da passagem da colhedora na área 2.	37
Tabela 7. Medianas e comparação das médias gerais de porcentagem de número de colmos antes da passagem da colhedora e número de tocos após a passagem da colhedora na área 2.	38
Tabela 8. Teste qui-quadrado para comparação da qualidade do corte nas horas de trabalho da colhedora na área 2.	41
Tabela 9. Medianas das porcentagens de perdas totais de matéria prima no campo, por toco e tocos abalados na área 2.....	42
Tabela 10. Medianas da porcentagem de falhas em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 1.	44
Tabela 11. Medianas do tamanho médio das falhas (m) em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 1.	45
Tabela 12. Medianas do número de perfilhos por metro em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 1.	47
Tabela 13. Medianas da altura das plantas em três épocas de avaliação após a colheita na área 1.	48
Tabela 14. Medianas da produtividade final de colmos na área 1.	50
Tabela 15. Medianas da porcentagem de falhas em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 2.	52
Tabela 16. Medianas do tamanho médio das falhas (m) em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 2.	53
Tabela 17. Medianas do número de perfilhos por metro, em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 2.	55
Tabela 18. Medianas da altura das plantas (m) em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 2.	56
Tabela 19. Medianas da produtividade final de colmos na área 2.	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação da região de Lençóis Paulista, temperatura máxima, média e mínima da região de Bauru, no período de agosto de 2013 a setembro de 2014.	19
Figura 2. Representação da distribuição das horas de trabalho da colhedora e dos pontos amostrais nas áreas avaliadas	20
Figura 3. Posições de medida do desgaste das facas do corte de base	21
Figura 4. Medida do desgaste das facas do corte de base da colhedora de cana-de-açúcar	21
Figura 5. Espera da passagem da colhedora pelo trecho escolhido, após as medidas de número de colmo e falhas (A); Limpeza do local para medida de número de tocos e falhas (B)	22
Figura 6. Notas e conceitos para cisalhamento de tocos	23
Figura 7. Desgaste das facas do corte de base na área 1.	27
Figura 8. Médias da porcentagem de falhas antes e depois da passagem da colhedora na área 1.	28
Figura 9. Médias do número de colmos antes e número de tocos após a colheita por metro de fileira e diferença em porcentagem na área 1	30
Figura 10. Notas de qualidade do corte de base na área 1 (5 ótimo – 1 muito ruim).....	31
Figura 11. Médias das perdas de matéria prima no campo totais e por toco na área 1.	34
Figura 12. Médias da porcentagem de tocos abalados na área 1.	35
Figura 13. Desgaste das facas do corte de base na área 2.	36
Figura 14. Médias da porcentagem de falhas antes e depois da colheita na área 2.	37
Figura 15. Médias do número de colmos antes da colheita, número de tocos após a colheita e diferença em porcentagem na área 2.	39
Figura 16. Notas de qualidade do corte de base na área 2 (5 ótimo – 1 muito ruim).....	40
Figura 17. Médias das perdas totais de matéria prima no campo e por toco na área 2.	42
Figura 18. Médias da porcentagem de tocos abalados na área 2.	43
Figura 19. Médias da porcentagem de falhas, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 1.	44
Figura 20. Médias do tamanho das falhas, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 1.	46
Figura 21. Médias do número de perfilhos por metro, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 1.	47
Figura 22. Média da altura das plantas, em três épocas de avaliação, após a colheita, na área 1.	49
Figura 23. Regressões quadráticas da produtividade final de colmos e do desgaste das facas do corte de base na área 1.....	51

Figura 24. Médias da porcentagem de falhas, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 2.	52
Figura 25. Médias do tamanho das falhas, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 2.	53
Figura 26. Médias do número de perfilhos por metro, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 2.	55
Figura 27. Médias da altura das plantas, em três épocas de avaliação, após a colheita na área 2.	56
Figura 28. Regressão cúbica da produtividade final de colmos e do desgaste das facas do corte de base na área 2.	58

1. RESUMO

O experimento teve o objetivo de avaliar os danos causados à soqueira da cana-de-açúcar pelo desgaste das facas do corte de base, ao longo de cinco horas de trabalho efetivo da colhedora, e sua influência no crescimento e na produtividade da safra seguinte. Foi realizado no município de Lençóis Paulista — SP, em duas áreas comerciais, das empresas PHD e Brasil Cana. Foram escolhidas duas áreas de cana planta, onde a primeira colheita foi realizada e avaliados os danos causados pelo corte de base à soqueira da cana. Nessas mesmas áreas, o crescimento da cultura foi acompanhado até a segunda colheita, isto é, primeira soca, para se verificar como esses danos poderiam afetar a cultura. As avaliações foram realizadas dentro de cada hora de trabalho da colhedora. As variáveis avaliadas foram número de colmos, porcentagem de falhas, tamanho das falhas, qualidade do corte, tocos abalados, perdas totais e perdas por toco, altura da planta e produtividade de colmos. As análises estatísticas foram feitas por meio do teste de Friedman, pois os dados não seguiram uma distribuição normal. Foi utilizado o software estatístico Minitab 16. Houve dano à soqueira causado pela colheita mecanizada. O desgaste das facas, até onde se avaliou, não aumentou o nível de dano na soqueira, porém piorou a qualidade do corte. Houve influência do desgaste das facas do cortador de base sobre a redução da produtividade da cultura.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., dano à soqueira, espaçamento entre fileiras, qualidade do corte.

BASECUTTER BLADES WEAR ON MECHANIZED HARVEST AFFECTING THE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF SUGARCANE. Botucatu, 2016. 67f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LUCAS ALMEIDA DE HOLANDA

Adviser: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

2. SUMMARY

The experiment aimed to assess the damage caused to the sugarcane ratoon by the wear of the basecutter knives, over five hours of effective work of the harvester, and its influence on the growth and productivity of the next harvest. The experiment was carried out in Lençóis Paulista - SP, in the commercial area of two agricultural companies. Two areas were selected, where the first crop was harvested and assessed the damages caused by the base cut to sugarcane ratoon. In these same areas, it was followed the crop growth until the second crop, to verify how such damages could affect the crop. The evaluations were made in each machine working hours. The experiment was conducted in a completely randomized design. Four replications were performed in each machine working hour. The variables evaluated were number of stems, percentage of gaps, size of gaps, cut quality, shaken stumps, total losses and stump losses, height of the stem, and productivity. The statistical analysis was performed using the Friedman test, because the data did not follow a normal distribution. It was used the statistical software Minitab 16. The results showed that there was damage to the ratoon caused by mechanical harvesting. The wear of the knives, as far as has been evaluated, did not increase the level of damage to the stumps, but caused the worst quality cut. There was influence of basecutter knives wear in reducing crop yield.

Key words: *Saccharum* spp.; damage to ratoon, row spaces, cut quality.

3. INTRODUÇÃO

Devido à implantação de leis ambientais que limitam a queima da cana-de-açúcar, aliada à escassez de mão de obra e ao endurecimento das leis trabalhistas, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem queima prévia vem crescendo no Brasil. Na safra 2014/2015, cerca de 90% da área de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil foi colhida mecanicamente (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2015).

Esse aumento da colheita mecanizada de cana "crua" também se justifica por trazer muitas vantagens, tais como: promover a manutenção da matéria orgânica no solo por meio do palhço, o que reduz a temperatura e mantém a umidade no solo; reduzir as queimadas, melhorando a qualidade do ar; aumentar a eficiência da colheita, pois apresenta rendimento maior que a colheita manual. Contudo, também gera alguns problemas, como aumento das impurezas na matéria prima, aumento das perdas no campo, pior qualidade do corte, soqueiras arrancadas ou abaladas, entre outros.

O corte de base da cana-de-açúcar é uma das operações da colhedora com influência direta sobre as perdas, na demanda de potência, nos danos à soqueira e na contaminação da matéria-prima. As colhedoras de cana picada utilizam um cortador de disco duplo, que, além de cortar a base dos colmos, participa do processo de alimentação da colhedora e da varredura do solo para recolher colmos e fragmentos (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2009).

A ação do cortador de base pode causar danos à soqueira da cana, como rachaduras e fragmentação dos tocos da cana-de-açúcar, principalmente se as facas

do corte de base estiverem excessivamente desgastadas. Nesse caso, pode facilitar a entrada de fungos e bactérias, dificultando a rebrota da cultura, além de aumentar a contaminação da matéria-prima, acarretando a redução da qualidade tecnológica. Isso ocorre quando as lâminas dos discos do corte de base trabalham em contato com a superfície do solo, ou abaixo dela, e o sistema radicular de soqueiras é arrancado e carregado com a cana-de-açúcar. O contato das lâminas com o solo acarreta o seu desgaste prematuro, promovendo um corte por impacto, que facilita o abalo e o arranquio das soqueiras.

A produtividade e a longevidade do canavial também podem ser afetadas pela colheita mecanizada, devido ao esmagamento das soqueiras, à má qualidade do corte, à altura inadequada de corte, à remoção de soqueiras e à compactação do solo, causando rebrota irregular ou deficiente.

Alguns trabalhos têm caracterizado muito bem o tipo de dano causado pelo corte de base, como a redução na qualidade do corte, o aumento das perdas e das impurezas, o maior abalo dos tocos, a altura de corte, o arranquio das soqueiras, entre outros (VOLTARELLI et al., 2015; REIS et al., 2015; SALVI et al., 2007; MELLO, 2005; MELLO; HARRIS, 2003). Contudo, não foram encontrados estudos sobre influência desses danos sobre o crescimento e a produtividade do ciclo de cultivo seguinte, de forma que há pouca informação sobre como esses fatores influenciam o rendimento da cultura. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivos medir os danos causados pelo desgaste das facas do corte de base da colhedora à soqueira da cana-de-açúcar e determinar até que ponto estes danos podem afetar o crescimento e a produtividade da safra seguinte.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. O setor sucroenergético

O setor sucroenergético é um dos mais representativos na economia do país, figurando entre um dos maiores no agronegócio. Na safra 2013/2014, o PIB (produto interno bruto) do setor foi calculado em U\$ 43,36 bilhões, considerando a soma das vendas dos produtos finais da cadeia produtiva. Esse valor representa quase 2% do PIB nacional de 2013. Quando se considera toda a movimentação financeira do setor, o que inclui as vendas de todos os elos da cadeia e dos serviços prestados pelos agentes facilitadores, o valor chega a U\$ 107,72 bilhões (NEVES; TROMBIN, 2014).

A grandeza do setor sucroenergético no Brasil também se reflete na sua produção, que na safra 2014/2015 foi de 634,8 milhões de toneladas, em uma área plantada de 9 milhões de hectares. A produtividade média nessa safra foi de 70,5 t ha⁻¹, com uma produção de 35,56 milhões de toneladas de açúcar e de 28,66 bilhões de litros de etanol (anidro e hidratado) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015).

4.2. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar já está presente na maior parte das áreas cultivadas com a cultura. Tornou-se uma necessidade, e vários fatores contribuíram para isso.

Um importante gargalo para as empresas do setor é a escassez de mão de obra para o corte da cana. A sazonalidade dessa força de trabalho, além da grande quantidade de pessoas exigidas, sindicalização dos trabalhadores, endurecimento das leis trabalhistas, incentivaram a adoção da colheita mecanizada, já que uma máquina colhedora chega a substituir de 80 a 100 trabalhadores (COSTA NETO, 2006).

Outro ponto que levou as usinas a mecanizarem a colheita foi a proibição da queima dos canaviais, por meio de lei que estabeleceu prazos para extinguirem as queimadas. A lei 11.242 de 2002 estabelece que a queima da palha da cana-de-açúcar seja extinta em áreas mecanizáveis (até 12% de declividade) até o ano de 2021 e nas demais áreas até 2031. Contudo, o governo do Estado de São Paulo, a UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar) em 2007 e a ORPLANA (Organização dos plantadores de cana da região Centro-Sul do Brasil) em 2008, assinaram um acordo chamado Protocolo Agroambiental, que, entre outras metas, antecipavam esses prazos para 2014 em áreas mecanizáveis e 2017 em áreas não mecanizáveis. Em 2013, 164 usinas e 5997 fornecedores tinham aderido ao Protocolo Agroambiental, o que corresponde a 5,2 milhões de hectares, cerca de 25% da área agricultável do Estado de São Paulo. A área acumulada que deixou de ser queimada desde 2006 até 2014 foi de 9,3 milhões de hectares, o que evitou a emissão de 34,7 milhões de toneladas de poluentes (CO, hidrocarbonetos e material particulado) e 5,7 milhões de toneladas de gases de efeito estufa (metano e óxido nitroso) (UNICA, 2014).

Uma nova abordagem vem surgindo nos últimos anos, que incentiva ainda mais a colheita mecanizada, que é o aproveitamento da palha para fins energéticos e para produção de etanol de segunda geração.

Apesar de a colheita mecanizada da cana-de-açúcar apresentar rendimento superior ao corte manual, considerando corte, carregamento e transporte, existem alguns problemas, como dano à soqueira, perdas de qualidade e de matéria prima, redução da produtividade e longevidade, entre outros, que podem impactar negativamente a eficiência de todo o processo.

Devido a esses vários fatores, a área de cana-de-açúcar colhida mecanicamente vem aumentando nos últimos anos. Em 2005, a colheita mecanizada alcançava uma área de 34% na região Centro-Sul, em 2007, 42% e em 2013, 89%. Dessa forma, a frota de colhedoras alcançou 3,4 mil máquinas na safra 2013/2014 (NEVES; TROMBIN, 2014)

Além desses números, o setor vem ganhando importância na área energética. Somente em 2015, a biomassa gerou 22,6 GWh⁻¹ para a rede elétrica nacional, em torno de 5% da energia elétrica consumida no Brasil. A cana-de-açúcar corresponde a quase 79% de toda biomassa utilizada no país (UNICA, 2016). Considerando o Estado de São Paulo, a biomassa de cana-de-açúcar produziu 8,3 GWh⁻¹ na safra 2013/2014, o que equivale a 22% do consumo residencial anual do Estado (UNICA, 2014).

A geração de energia da biomassa atinge seu pico nos meses mais secos, como agosto, quando alcançou cerca de 8% do consumo de energia elétrica nacional em 2015. Estima-se que em 2014 a produção de energia do setor sucroenergético tenha poupado 13% da água dos reservatórios do subsistema Sudeste/Centro-Oeste, porque a geração ocorre no período mais seco do ano, quando os reservatórios de água estão nos níveis mais baixos (UNICA, 2016). Em tempos de crise hídrica, com risco de racionamento de energia, o setor toma um lugar de destaque na segurança energética do país.

4.2.1. Histórico da colheita mecanizada da cana-de-açúcar

A primeira máquina cortadora de cana que se tem notícia no mundo foi concebida em 1906, no Havaí, EUA. Por 30 anos foram feitas melhorias na máquina, porém causavam danos excessivos às soqueiras. Em 1937, também no Havaí, foi criado o primeiro sistema de corte completo, com sistema de separação de terra e pedras (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Nos EUA, devido a segunda guerra mundial, houve escassez de mão de obra para a colheita da cana, o que incentivou a mecanização da colheita. No estado da Louisiana houve o desenvolvimento e utilização de máquinas colhedoras. Nos primeiros anos do pós-guerra, 90% das áreas desse estado eram mecanizadas. As máquinas utilizadas efetuavam o corte de base e o desponte, depositando os colmos no terreno. Na década de 1960, na Austrália, foi lançado um novo conceito de máquinas para o corte de

cana, as colhedoras combinadas, ou de cana picada. Esse é o conceito mais utilizado até hoje. No Brasil, a colheita era totalmente manual até a década de 1950. A partir daí começou a mecanização parcial da colheita, com o surgimento das primeiras carregadoras de cana. No período de 1962 a 1965, foi desenvolvida a colhedora chamada CTD, a qual usava dois operadores, um para pilotá-la ao longo das fileiras de cana e outro para manobrar o corte de base, o despontador e o cesto que recebia os colmos cortados (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

No final da década de 60, a SANTAL importou a primeira colhedora combinada da Austrália, na qual fizeram adaptações necessárias e produziram um modelo mais avançado, a SANTAL 115. Em 1975, chega no Brasil a proposta de se colher cana sem queima prévia. Em 1985 a AUSTOFT lança a série 7000, que é conhecida hoje como CASE (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

4.2.2. Sistemas de colheita de cana-de-açúcar

De acordo com Ripoli e Ripoli (2009), um sistema de colheita de cana é formado pelos subsistemas de corte, carregamento e transporte, possuindo inúmeras combinações e opções. De modo geral, os sistemas de colheita podem ser divididos em 3 grandes grupos:

Sistema Manual: O corte e o carregamento são feitos manualmente, podendo haver um transporte intermediário (baldeio) por tração animal. O transporte é feito por caminhões de pequena capacidade de carga. Variações desses sistemas ainda são utilizados em regiões com alta declividade, como em alguns locais do Nordeste.

Sistema Semi Mecanizado: Utiliza o corte manual, com o carregamento feito por carregadoras mecânicas autopropelidas ou montadas em tratores. O transporte é feito por caminhões ("truck" ou treminhão). Até recentemente era o sistema mais usado no Brasil. Possui limitações de declividade até 20 a 25%.

Sistema Mecanizado: Se caracteriza pelo corte, carregamento e transporte feito por máquinas. Dentro desse conceito existem várias combinações, como o corte realizado por cortadoras enleiradoras ou amontoadoras, carregamento por carregadoras mecânicas e o transporte por caminhões. Ou o corte realizado por colhedora combinada de cana picada, que já realiza o carregamento da matéria prima em um veículo

de transporte intermediário (transbordo) e o transporte é feito por caminhões. Possui limitação de declividade de cerca de 12%. Essa combinação é a que prevaleceu e é a mais utilizada atualmente.

4.2.3. Operações da colheita mecanizada

Para Braunbeck e Magalhães (2009), a colheita mecanizada constitui uma série de etapas realizadas pela colhedora, não podendo ser tratada como processo único. Suas principais etapas são:

4.2.3.1. Separação de fileiras de cana-de-açúcar

É necessário, devido a largura do equipamento se limitar a uma ou duas fileiras e os colmos, muitas vezes, se encontram tombados em fileiras vizinhas. A separação é realizada por elevadores espiralados que direcionam os colmos para o centro da fileira, também chamados de “pirulitos”. Algumas vezes esse mecanismo não é eficiente, e alguns colmos são cortados e não recolhidos, o que gera perdas (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

4.2.3.2. Corte de base

O corte de base é uma das operações da colhedora que têm influência direta nas perdas, na demanda de potência, nos danos a soqueira e na contaminação da matéria prima. As colhedoras de cana picada utilizam um cortador de disco duplo, que, além de cortar a base dos colmos, participa do processo de alimentação da colhedora e varredura do solo para recolher colmos e fragmentos. O cortador de base é dotado de facas, que giram em sentidos opostos e são montados com inclinação longitudinal de 10°. O corte da fileira de colmos ocorre na faixa central de encontro desses discos no caso do sistema de uma fileira, no sistema de espaçamento alternado ou fileira dupla, cada disco corta uma fileira (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2009).

O princípio apresenta limitações severas associadas a perda de matéria prima e qualidade, assim como demanda de potência muito acima da necessária para o corte dos colmos em si. O desempenho de varredura desse mecanismo é insatisfatório e o ajuste de altura do corte representa uma relação inversa entre qualidade e perda de matéria prima (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2009).

Normalmente, para se reduzir as perdas, torna-se necessário aprofundar o corte de base para deixar menor altura de toco e para melhorar a varredura do solo. De acordo com Braunbeck e Magalhães (2009), existem duas formas de operar o corte de base de uma colhedora de cana-de-açúcar:

Operando o cortador em profundidade, com as lâminas abaixo da linha do solo. Essa forma diminui as perdas, pois permite melhor varredura do solo e corte mais rente dos colmos, deixando menos material em forma de tocos no campo. Por outro lado, aumenta a quantidade de impurezas minerais na matéria prima, devido ao maior contato das lâminas com o solo, além do maior desgaste dessas. Também é maior a chance de arranquio e abalo das soqueiras, o que pode prejudicar a brotação da cultura.

Operando o cortador mais elevado, com as lâminas acima do nível do solo. Dessa forma, há menor quantidade de impurezas na matéria prima, reduz o arranquio e abalo de soqueira e é menor o desgaste das facas, pois essas têm menor contato com o solo. Por outro lado, aumenta as perdas, pois deixam tocos maiores no campo, além de diminuir a eficiência da varredura do terreno. Há estudos que mostram quantidades de terra de 5 kg por tonelada de cana nessa forma de operação, contra 50 kg por tonelada de cana quando se opera o discos abaixo da linha do solo.

O plantio da cana-de-açúcar é realizado em sulcos, a uma profundidade média de 30 cm, o que dificulta a operação do cortador de base, devido ao desnivelamento do solo. Com a cana no fundo do sulco, para que o colmo seja cortado na altura desejada, as lâminas entram em contato com as bordas do sulco, aumentando o desgaste por abrasão, o que causa maiores danos a soqueira, pois ocorre dilaceramento do internódio, ao invés do cisalhamento, que seria o ideal (VOLPATO, 2001).

Os danos causados aos colmos pelo cortador de base aumentam a chance do primeiro entrenó ser perdido pelos extratores e os danos causados nos tocos podem reduzir a produtividade da soqueira seguinte pelo aumento da exposição a fungos e pela destruição ou remoção de novas gemas (KROES; HARRIS, 1994).

Há pouca ou nenhuma definição sobre a aceitabilidade de parâmetros de classificação de dano, e o ponto de transição no qual o dano torna-se inaceitável. Provavelmente, é variável, dependendo de cada região, de suas variáveis climáticas e das doenças mais comuns (KROES; HARRIS, 1994).

O plantio nivelado, ou em camalhão, pode ser uma solução para esse problema, pois deixa a superfície do solo praticamente uniforme. Essa condição facilita o trabalho da colhedora, que pode desenvolver maior velocidade e as lâminas têm menor desgaste, gerando melhor uniformidade na altura de corte dos colmos, menor desperdício das partes basais, mais ricas em sacarose e eleva a base da planta, facilitando o corte e reduzindo o contato das facas com o solo. Porém, um dos problemas do plantio nivelado está relacionado aos aspectos agronômicos envolvidos com a retenção de água no sulco, razão pela qual não é adotado em muitas regiões produtoras (FURLANI NETO, 2000).

4.2.3.3. Corte dos ponteiros

Estudos mostram que a presença do ponteiro na matéria prima causa aumento na impureza, redução na pol, pureza, Brix, além do aumento dos teores de fibra e açúcares redutores (SILVA NETO, 2013). Dessa forma, remoção do ponteiro justifica-se por seu caldo possuir baixo teor de sacarose e baixa pureza, além do alto teor de não açúcares, que afetam negativamente o processo industrial. O corte dos ponteiros é realizado por um dispositivo de disco, com lâminas periféricas, móvel, controlado pelo operador e localizado na frente da colhedora. No caso de cana tombada, o desponte é ineficiente, devido à dificuldade dos elevadores espiralados ("pirulitos") posicionarem os colmos de forma adequada para o desponte (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2009).

4.2.3.4. Sistema de alimentação

Um dos principais desafios para a colheita mecanizada é o sistema de alimentação. O processo de separação dos colmos para que sejam dispostos nos processos de despalha e fracionamento se torna difícil, pela existência de colmos tombados, acamados, entrelaçados e com comprimentos variáveis de 2 a 5 m (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2009).

O processo de alimentação é realizado por um par de elevadores espiralados ("pirulitos"), que levanta e alinha os colmos; por um par de discos cortadores de base, que além do corte auxilia na alimentação, e pelo o rolo tombador, que deita os colmos para alinhá-los com o eixo longitudinal da máquina, o que viabiliza o ingresso dos mesmo para o seu interior (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2009).

4.2.3.5. Despalha, limpeza, fracionamento e transporte

A despalha e limpeza são feitas dentro da colhedora. Um conjunto de rolos promove o transporte e despalha dos colmos. O fracionamento dos colmos é feito por mecanismo rotativo dotados de lâminas, chamado rolo picador. Após os colmos serem fracionados em toletes, passam por dois extratores, primário e secundário, compostos de hélices rotativas que geram um fluxo de ar, promovendo a retirada da palha e da terra. O processo ocorre por diferença de peso. Os toletes, mais pesados, passam direto pelo fluxo de ar, enquanto que a palha e a terra, mais leves, são removidos. Os toletes caem em um elevador de taliscas e são descarregados no veículo de transporte.

É importante o ajuste da velocidade dos extratores que permita a colhedora operar em um ponto ótimo em relação as perdas e impurezas, pois a tentativa de reduzir o índice de matéria estranha na cana por meio do aumento da velocidade dos extratores pode levar ao aumento das perdas de matéria prima a níveis inaceitáveis (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

O fracionamento dos colmos é importante, pois melhora a densidade de carga no transporte e facilita o manuseio do material a granel, com a transferência para o transporte por queda livre. Uma massa específica de carga considerada boa, gira em torno de 500 kg m^3 , o que não seria possível com colmos inteiros (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

4.3. Perdas e impurezas

A mudança do sistema de colheita de cana manual com queima prévia para a colheita totalmente mecanizada de cana "crua", resultou, inicialmente, em elevação acentuada das perdas de cana, chegando a mais de 15%, e aumento nas impurezas vegetais e minerais levadas à indústria. Segundo Benedini et al. (2009), as perdas de cana podem ser classificadas como visíveis e invisíveis.

As perdas visíveis podem ser detectadas no campo. Estão associadas às características da área a ser colhida. Podem estar ligadas a características varietais, como produtividade, tombamento, teor de fibra, comprimento do palmito, quantidade de palha, "isoporização", entre outras. Também podem ser associadas ao preparo da área, como padronização do espaçamento entre fileiras, comprimento do talhão, sistematização do plantio, depressões e torrões, quebra de lombo, qualidade do cultivo, e

outras. Também a própria operação de colheita, o que envolve o treinamento do operador, velocidade de colheita compatível com o estado do canavial, sincronismo com o veículo transbordo, situação dos equipamentos da colhedora, como facas de corte de base e facão do rolo picador, velocidade dos exaustores, altura do corte de base, por exemplo (BENEDINI et al., 2009).

A quantificação de perdas facilita a correção de falhas operacionais e permite melhor controle da qualidade da operação. As perdas visíveis podem ser encontradas como: tocos, cana inteira, cana ponta, toletes, lascas e pedaços. O nível de perdas é classificado, conforme metodologia do Centro de Tecnologia Canavieira - CTC, em baixo, quando menor que 2,5%; médio, quando entre 2,5 e 4,5%, e alto, quando maior que 4,5% (BENEDINI et al., 2009).

As perdas invisíveis ocorrem na forma de caldo, serragem e pequenos estilhaços de cana, gerados durante o processamento interno na colhedora, pelo impacto dos mecanismos de corte, picagem, transporte e limpeza. A denominação de perdas invisíveis se deve ao fato de serem difíceis de identificar e, principalmente, de quantificar esse material no campo. Seus valores, geralmente ficam em torno de 2 a 5,5%. Como são impossíveis de serem quantificadas no campo, são determinadas em laboratório (BENEDINI et al., 2009).

É denominado impureza tudo que não for rebolos ou colmos maduros e acompanha a matéria prima. O teor de impurezas depende das condições de cultivo (comprimento dos colmos, idade e desenvolvimento), da variedade de cana-de-açúcar, da qualidade da limpeza, do tipo e do teor de umidade do solo, da altura do corte basal e do desponte, porte do canavial, da produtividade agrícola e do tipo de máquina empregada (STUPIELLO; FERNANDES, 1984). As impurezas podem ser classificadas como de origem mineral ou vegetal (BENEDINI et al., 2009).

Há relação inversa entre as perdas e as impurezas, pois a limpeza é realizada pelos exaustores primário e secundário, também responsáveis por boa parte das perdas. Dessa forma, caso a redução das perdas seja priorizada, haverá aumento das impurezas. A tomada de decisão deve ocorrer no sentido de encontrar uma rotação dos exaustores condizente com a variedade e as condições do canavial, achando um ponto ótimo entre perdas e impurezas (BENEDINI et al., 2009).

A impureza mineral é composta por terra e pedriscos. É extremamente danosa à indústria, causa desgaste excessivo em vários equipamentos por abrasão, aumenta a perda de sacarose, aumenta as paradas da usina, exige mudanças no processo. A impureza mineral, de acordo com metodologia do CTC, é classificada como baixa, quando menor que 0,3%; média quando entre 0,4 e 0,6%, e alta, quando maior que 0,6% (BENEDINI et al., 2009).

As impurezas vegetais são compostas principalmente por folhas, palha, ponteiro, bainha. Esse tipo de impureza resulta em menor peso de carga, tornando o transporte mais oneroso, menor eficiência na extração do caldo e redução da pol. A impureza vegetal pode ser classificada, conforme metodologia do CTC, em baixa, quando menor que 3%; média, quando entre 4 e 6%, e alta, quando maior que 7% (BENEDINI et al., 2009).

Para reduzir a impureza mineral na matéria prima são necessárias alterações nas práticas culturais existentes, como preparo do solo, plantio e espaçamento, e mudanças no projeto do disco do cortador basal. Os principais fatores que contribuem para elevar o nível de contaminação da matéria prima são: movimentação do solo provocada pelos levantadores helicoidais ("pirulitos"), excessivo ângulo dos colmos provocado pelo tombador e corte basal abaixo do nível do solo, aumentando o fluxo de terra (RIDGE, 1992).

Para Braunbeck e Magalhães (2009), existem limitações no princípio operacional dos cortadores de base utilizados atualmente que dificultam a redução da contaminação dos padrões atuais. Pode-se afirmar, seguramente, que novos esforços devem ser direcionados a mecanismos que evitem a captação dessa matéria estranha e não em sistemas que busquem retirá-la após sua incorporação na matéria prima.

O decréscimo na qualidade tecnológica da matéria prima devido a maior incidência de impurezas e ao aumento das perdas, pode superar qualquer redução de custos obtidos pela mecanização. Estudos mostram que a cada 1% de acréscimo de impurezas na cana, causa decréscimo de 1,3 a 1,4% de açúcar recuperável e aumento proporcional nos custos de transporte (BURLEIGH et al., 1988, citado por NEVES, 2003)

De acordo com GARSON (1992), a quantidade de solo levado a indústria junto com a matéria prima aumentou devido a colheita mecanizada. Esse aumento de impurezas na matéria prima causou redução na eficiência da indústria, aumentou os

custos operacionais e de manutenção, e provocou desgaste dos equipamentos da fábrica e das colhedoras devido ao seu efeito abrasivo.

Testes na África do Sul revelaram que as impurezas transportadas à indústria reduziram a taxa de moagem em 2,2 a 3% para cada 1% adicional de folhas na matéria prima (DE BEER, 1980).

4.4. Espaçamento

A redução do espaçamento nas culturas, na maioria das vezes, aumenta suas produtividades, principalmente em solos de baixa fertilidade. Com a adoção da colheita mecanizada na cana-de-açúcar, espaçamentos mais comuns, que não se adaptam à bitola das máquinas, causam pisoteio das soqueiras, o que gera perdas de produtividade superiores aos ganhos devidos ao menor espaçamento. Estudos conduzidos pelo CTC mostram queda de produtividade próxima a 10 t por ha ano⁻¹, somente devido ao pisoteio. Essa ação, além de compactar o solo na linha de plantio, danifica as novas gemas, prejudicando a brotação da cultura (BENEDINI; CONDE, 2008).

Quando os espaçamentos são equidistantes, são chamados simples ou uniformes. Quando há variações na distância entre as fileiras, o espaçamento é chamado duplo alternado (ROSA, 2013). O espaçamento de 1,5 m é considerado ideal para a colheita mecanizada, pois é o que melhor se adapta à bitola das máquinas. Canaviais com espaçamentos menores ficam sujeitos ao pisoteio das fileiras de cana (RIPOLI; RIPOLI, 2007).

Os espaçamentos duplos alternados combinam faixas de espaçamentos mais largos, onde ocorrerá o tráfego, com faixas de espaçamento mais estreitos, com o objetivo de proporcionar melhores condições de produtividade e de controle do tráfego, também chamados duplo alternado. São alternativas para solos menos férteis, pois mantém uma linha de tráfego suficiente para não haver pisoteio da soqueira, menores distâncias percorridas pela máquina e um maior número de fileiras de cana do que um espaçamento simples, o que permite ter maior produtividade nesses ambientes (CASAGRANDE, 2000; ROSSETO; PASCOTO, 2001; FURLANI NETO, 2009).

Os tipos de espaçamentos duplos alternados mais comuns são os que usam duas fileiras de cana plantadas a 0,9 m e com espaçamento na entrelinha de 1,5

ou 1,6 m. Existem variações desse espaçamento, principalmente na faixa mais estreita, como o que adota 0,5 m, muito usado em sistemas irrigados por gotejamento.

4.5. Efeitos da colheita mecanizada no perfilhamento, produtividade e longevidade da cana-de-açúcar

O perfilhamento é muito variável em cana, podendo mudar com a genética de cada variedade (CASAGRANDE, 1991). A cultura da cana-de-açúcar possui a fase de perfilhamento intenso, porém muitos perfilhos morrem devido a competição por água, nutrientes e luz. Prado (1988) acompanhou o perfilhamento de três variedades em cana-planta e primeira soca. Em cana-planta, a variedade SP70-1143 teve o máximo de 26 perfilhos e 13 colmos no final do ciclo, a variedade IAC52-150 teve 17 perfilhos no pico e 12 no final do ciclo e a variedade NA56-79 teve um máximo de 15 perfilhos e 9 colmos no final do ciclo. Na primeira soca, a variedade SP-70-1143 teve o pico de 23 perfilhos e 13 colmos no final do ciclo, as variedades IAC52-150 e NA56-79 tiveram máximo de 15 perfilhos e 10 colmos no final do ciclo.

O acúmulo da camada de palhiço residual da colheita mecanizada da cana-de-açúcar pode provocar redução na velocidade de brotação e perfilhamento. Enquanto estão sob a palhada, os primeiros perfilhos brotados têm um impedimento mecânico, além de receberem menos luz, o que causa redução na fotossíntese inicial (VASCONCELOS, 2002). Além disso, a redução da temperatura do solo causada pelo palhiço cria condição menos favorável para a brotação das gemas das canas colhidas no inverno (LEME FILHO, 2009).

Cosenza et al. (2010), avaliando a influência da colheita mecanizada da cana queimada na brotação das variedades RB72454 e SP81-3250, observaram que houve menor brotação e maior número de falhas para RB72454 devido a colheita mecanizada, enquanto que não houve diferença para SP81-3250.

Também pode ocorrer a autoalelopatia, quando compostos aleloquímicos liberados pelo palhiço reduzem a brotação, causando danos à própria cultura (VELINI; NEGRISOLI, 2000). É muito provável que a maior ou menor sensibilidade seja uma característica varietal. Estudos mostram que algumas variedades são mais sensíveis que outras a esse efeito (LEME FILHO, 2009).

A maior parte das variedades apresenta menor perfilhamento sob a palhada no início do desenvolvimento, mas iguala-se ao perfilhamento livre de palhiço após alguns meses, chegando ao ponto de colheita sem nenhuma diferença no número de colmos (VASCONCELOS, 2002).

Assim como o perfilhamento, a resposta da cana-de-açúcar a manutenção do palhiço no solo quanto a produtividade é bastante diferenciada entre as variedades. Uma mesma variedade pode responder de maneira diferente a presença de palhiço no solo, o que pode ser função de condições ambientais. Por exemplo, quando o maior rendimento da cultura se dá na presença de palhiço, sugere-se que é por causa da maior umidade mantida no solo, portanto, quanto maior o déficit hídrico, mais favorável é a manutenção do palhiço no solo (LEME FILHO, 2009).

O efeito da manutenção do palhiço no solo sobre a longevidade dos canaviais ainda é um assunto pouco estudado. Pode-se presumir que a restrição promovida pelo palhiço a perda de água por evaporação possa, especialmente em regiões sujeitas a acentuados déficits hídricos, contribuir para mitigar a queda de produção de um ciclo para o outro. Por outro lado, em variedades de cana-de-açúcar mais sensíveis aos efeitos negativos do palhiço sobre a brotação e o perfilhamento, é possível que o palhiço contribua para acelerar essa queda de produção, reduzindo a produtividade, principalmente se for deixado em área total, ou seja, nem recolhido nem aleirado (LEME FILHO, 2009).

Além da influência do palhiço no perfilhamento, produtividade e longevidade do canavial, há também a ação do dispositivo de corte de base sobre as soqueiras, que afetam esses fatores. Segundo Salvi et al. (2007), a deficiência no controle da altura de corte e o desgaste das facas do corte de base podem aumentar as perdas e reduzir a qualidade da cana colhida, além de aumentar os danos nas soqueiras, seja por sua remoção ou pelo corte inadequado. Contudo, existem poucas informações de como o corte de base afeta o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização das áreas experimentais

Os experimentos foram realizados nas áreas comerciais das empresas agrícolas PHD e Brasil Cana, ambas localizadas no município de Lençóis Paulista – SP. A área 1 (A1), pertencente à empresa agrícola PHD, tem aproximadamente 5 ha e coordenadas geográficas: latitude 22°4'28" sul e longitude 48°58'23" oeste. A área era de cana-planta, espaçamento duplo alternado de 0,9 x 1,5 m. A variedade plantada foi a RB867515, que possui como principais características alta produtividade e sacarose, maturação média/tardia, boa brotação em cana crua, perfilhamento médio, hábito de crescimento ereto, com eventual tombamento, crescimento rápido, florescimento eventual (REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO - RIDESA, 2010). O solo foi classificado como Latossolo vermelho-amarelo distrófico, de textura média e relevo suave ondulado (OLIVEIRA et al., 1999). A colhedora utilizada foi a John Deere 3522, velocidade de colheita de 4 a 5 km h⁻¹, facas do corte de base Duraface (Araras, SP, Brasil).

A área 2 (A2), pertencente à empresa agrícola Brasil Cana, tem aproximadamente 8 ha e coordenadas geográficas: latitude 22°38'25" sul e longitude 48°50'57" oeste. A área estava no estágio de cana-planta, espaçamento simples de 1,5 m entre fileiras. A variedade plantada foi a CTC14, que possui como principais características alta produtividade e sacarose, maturação média/tardia, boa brotação, bom perfilhamento, hábito de crescimento ereto, exigência de fertilidade média, florescimento raro, boa

colheitabilidade (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA - CTC, 2013). O solo foi classificado como Latossolo vermelho-amarelo distrófico, de textura média e relevo suave ondulado (OLIVEIRA et al., 1999). Foi utilizada a colhedora Cameco CH2500B, velocidade de colheita de 4 a 5 km h⁻¹, facas do corte de base Albaricci (Matão, SP, Brasil).

O clima da região é, segundo a classificação de Köeppen, do tipo Aw, caracterizada por invernos secos e chuvas máximas no verão. Na Figura 1 estão os dados de precipitação pluvial e de temperatura máxima, média e mínima, no período do experimento. Os dados de precipitação foram cedidos pela empresa PHD, coletados em pluviômetro localizado a cerca de 1 km da A1 e de 6 km da A2. Os dados de temperatura foram cedidos pelo Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet) da UNESP, referentes a estação meteorológica de Bauru, a mais próxima das áreas experimentais, pois não foi encontrado nenhuma empresa ou instituição que coletasse dados de temperatura na região do experimento.

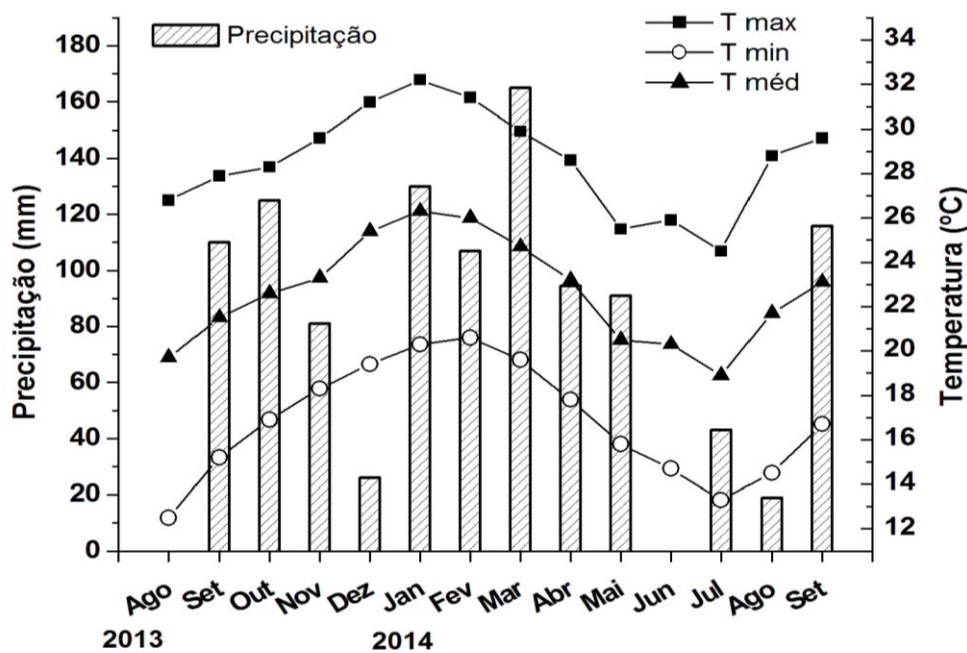


Figura 1. Precipitação da região de Lençóis Paulista (SP), temperatura máxima, média e mínima da região de Bauru, no período de agosto de 2013 a setembro de 2014.

5.2. Caracterização do experimento

O experimento consistiu em avaliar os danos causados à soqueira da cana-de-açúcar devido ao desgaste das facas do corte de base da colhedora, ao longo de

cinco horas de trabalho efetivo, em dois espaçamentos. Foram feitas quatro amostragens durante cada hora de trabalho da máquina, distribuídas aleatoriamente conforme o ritmo de trabalho da colhedora (Figura 2). Em seguida, foram acompanhados o desenvolvimento da cultura e a produtividade da colheita seguinte, quando foram realizadas quatro e seis amostragens durante cada hora de trabalho, respectivamente. A contagem das horas de trabalho da colhedora representa o aumento do desgaste das facas do corte de base, de forma que a hora 1 corresponde ao menor desgaste e a hora 5 ao maior. Considerou-se como trabalho efetivo os momentos em que a máquina realmente cortava a cana. Por isso, foram contabilizadas somente as horas de trabalho do horímetro da esteira.

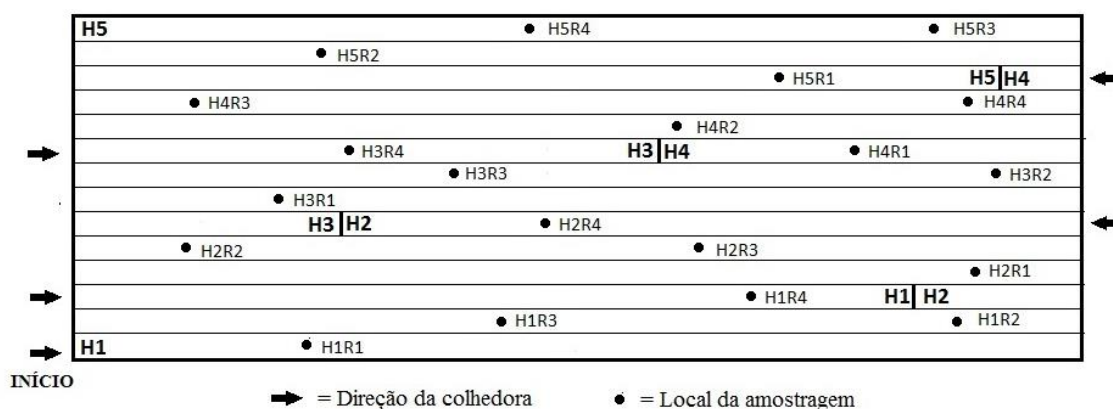


Figura 2. Representação da distribuição das horas de trabalho da colhedora e dos pontos amostrais nas áreas avaliadas (cada faixa retangular representa uma fileira de cana).

5.3. Primeira colheita

5.3.1. Desgaste das facas

O desgaste das facas foi medido com um paquímetro digital em três pontos, na base, junto ao disco (ponto 1), meio (ponto 2) e ponta da faca (ponto 3) (Figura 3). A medida era tomada ao final de cada hora de trabalho efetivo da máquina, quando parava e mediam-se as 10 facas sem que fossem retiradas dos discos (Figura 4). Identificaram-se as facas para que as medidas fossem realizadas sempre na mesma ordem.

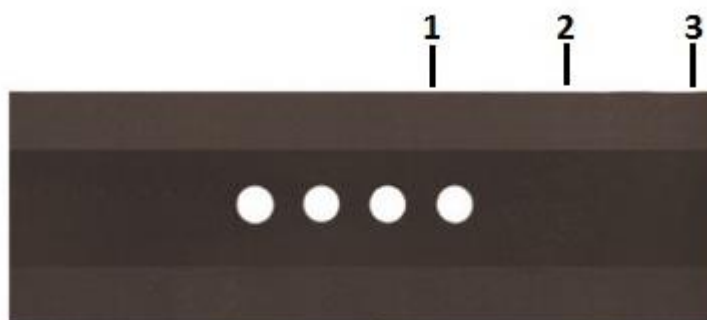


Figura 3. Posições de medida do desgaste das facas do corte de base (adaptado de DURAFACE, 2016)



Figura 4. Medida do desgaste das facas do corte de base da colhedora de cana-de-açúcar.

5.3.2. Porcentagem de falhas e número de colmos

Antes da passagem da colhedora, escolheu-se, aleatoriamente, um trecho de dez metros lineares de cana no espaçamento simples e de cinco metros no espaçamento duplo alternado, demarcados com duas estacas brancas, onde foi avaliado o número de colmos, a quantidade e o tamanho das falhas. Após a passagem da colhedora, o trecho foi limpo com a ajuda de um rastelo, removendo-se a palha e a terra, para que os

tocos ficassem expostos. Dessa forma, verificou-se o número de tocos restantes e mediram-se, novamente, a quantidade e o tamanho das falhas (Figura 5). As medidas foram feitas com uma trena, auxiliada por um gabarito de 0,5 m, que serviu para descartar as falhas menores que essa medida. Os pontos onde foram feitas as amostragens foram marcados com GPS, marca Garmin, com precisão de 5 m, além de referenciados de acordo com o número da fileira de cana correspondente.

Para o cálculo da porcentagem de falhas, usou-se o método de Stolf et al. (1986), em que foram consideradas as falhas maiores que 0,5 m em 10 m de fileira de cana. A porcentagem de falhas foi obtida dividindo o comprimento das falhas verificadas no trecho avaliado pelo comprimento total desse trecho.



Figura 5. Espera da passagem da colhedora pelo trecho escolhido, após as medidas de número de colmo e falhas (A); Limpeza do local para medida de número de tocos e falhas (B).

Essa metodologia de avaliação, antes e depois da passagem da colhedora, foi usada para verificar a condição do canavial antes da colheita, considerando-se a diferença entre os dois momentos, o que evitou a interpretação errada de um dano elevado, caso o trecho, originalmente, tivesse menor número de colmos ou maior porcentagem de falhas.

5.3.3. Qualidade de corte

Avaliou-se a qualidade do corte pela metodologia utilizada por Salvi (2006) (Figura 6), adaptada de Kroes (1997). Consiste num padrão visual, com notas de 1 a 5, no qual 1 corresponde a péssimo e 5 a ótimo. No local escolhido para as

amostragens, foram analisados todos os tocos restantes após a colheita, nas horas de trabalho avaliadas, aos quais foram atribuídas as notas e depois calculadas as porcentagens correspondentes a cada nota.

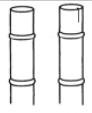
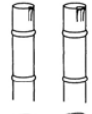
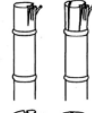
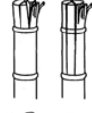
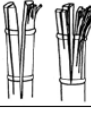
Conceito	Nota	Exemplo visual
Ótimo	5,0	
Muito Bom	4,0	
Bom	3,0	
Regular	2,0	
Ruim	1,0	

Figura 6. Notas e conceitos para cisalhamento de tocos (SALVI, 2006).

5.3.4. Perdas visíveis no campo (totais e tocos)

As perdas visíveis no campo foram realizadas conforme metodologia proposta pelo CTC (BENEDINI et al., 2009) a partir de três amostragens para cada hora de trabalho efetivo da máquina.

A perda de tocos constitui um dos componentes da perda total. Foi avaliada separadamente, pois poderia ter relação com o dano causado pelo corte de base, na forma de soqueiras arrancadas.

5.3.5. Tocos abalados

Durante a contagem do número de tocos, após a passagem da colhedora, avaliaram-se os tocos abalados, isto é, os tocos parcialmente soltos, porém com as raízes ainda presas ao solo. Por se tratar de parâmetro subjetivo, foi feito sempre pela mesma pessoa. O cálculo da porcentagem de tocos abalados foi feito pela divisão do

número desses tocos pelo número total de tocos, depois da passagem da colhedora (SALVI, 2006).

5.4. Desenvolvimento da cultura

Fizeram-se essas avaliações após o 1º corte, em até três datas antes da segunda colheita. Na área 1, foram realizadas aos 62, 121, 181 dias após o corte (DAC), enquanto na área 2, aos 60, 121, 183 DAC (Tabela 1). Realizaram-se as amostragens quatro vezes a cada hora de trabalho da colhedora.

Tabela 1. Datas das avaliações e dias após a colheita (DAC).

	Área 1	DAC	Área 2	DAC
Colheita 1	13/08/2013	0	07 e 08/09/2013	0
Avaliação 1	14/10/2013	62	07/11/2013	60
Avaliação 2	12/12/2013	121	07/01/2014	121
Avaliação 3	10/02/2014	181	10/03/2014	183
Colheita 2	05/07/2014	326	17/09/2014	374

5.4.1. Porcentagem de falhas, tamanho de falhas, número de perfilhos e altura da planta

O número de perfilhos foi contado em 10 m de fileira de cana para o espaçamento 1,5 m entre fileiras e em cinco metros para o espaçamento duplo alternado de 0,9 x 1,5 m e depois calculado a quantidade por metro de fileira, dividindo o valor por 10. A porcentagem de falhas foi obtida conforme descrito do item 5.3.2. O tamanho das falhas foi obtido pela divisão do comprimento das falhas verificadas no trecho pelo número de falhas no trecho (STOLF et al., 1986). Mediu-se, com uma trena, a altura de cinco plantas, do nível do solo até o início da folha +1. Mas tomou-se essa medida apenas nas duas últimas avaliações, pois, na primeira, não havia formação de colmo, impossibilitando seguir o mesmo parâmetro das avaliações seguintes.

5.5. Segunda colheita

Nessa fase do experimento, realizaram-se seis amostragens em cada hora de trabalho da colhedora. As áreas em que cada hora foi avaliada correspondem às mesmas da colheita anterior, porém as amostras não puderam ser colhidas exatamente nos mesmos locais. Foi realizada aos 325 DAC na área na A1 e aos 374 DAC na A2.

Foram medidos o número de colmos, porcentagem de falhas, tamanho das falhas, altura das plantas, todos conforme metodologia já descrita. Também foi obtido o peso de 10 colmos, em que, nos trechos analisados, foram cortados, aleatoriamente, 10 colmos, retirados os ponteiros e folhas secas, amarrados em feixes e pesados.

A produtividade foi calculada multiplicando o número de colmos por metro linear, pela quantidade de metros de fileira de cana em um hectare (conforme espaçamento), pelo peso médio do colmo e dividindo o resultado por 1000.

O número de colmos por metro de fileira foi calculado dividindo-se por dez o número de colmos em dez metros. A quantidade de metros de fileira de cana por hectare foi calculada dividindo-se 10000 (m^2 em 1 ha) pelo espaçamento de plantio do canavial na área.

5.6. Análise estatística

Para as análises estatísticas, utilizou-se o teste de Friedman, pois os dados resultaram não paramétricos, por não seguirem uma distribuição normal. Nesse caso, para efetuar as análises, utilizaram-se as medianas. Já na verificação das variáveis avaliadas antes e depois da passagem da colhedora, empregou-se o teste “t” Student pareado, no intuito de comparar a média geral de antes e de depois. Os dados de "score" da qualidade do corte foram avaliados pelo teste qui-quadrado. Para as variáveis desgaste das facas do corte de base e produtividade foi feita análise de regressão.

Foi utilizado o software Minitab 16 para analisar os dados, considerando-se significativa quando $p < 0,01$, $p < 0,05$ e $p < 0,1$, dependendo da variável analisada.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Primeira colheita

6.1.1. Área 1

6.1.1.1. Desgaste das facas do corte de base

No decorrer das horas de uso, percebeu-se desgaste maior na extremidade das facas (Figura 7). Essa redução acentuou-se mais entre a largura da faca nova (FN) e a da primeira hora de trabalho (7,4 mm). Desse momento em diante, o desgaste tornou-se bem menor, em média 0,73 mm por hora de trabalho da colhedora, totalizando 10,37 mm entre a quinta hora de trabalho e a FN. Entre as horas 2 e 3, ocorreu o menor desgaste, 0,12 mm, enquanto, entre as horas 3 e 4, o maior, 1,42 mm.

Essas variações do desgaste das facas entre as horas de trabalho podem ser atribuídas às diferentes condições nas áreas colhidas em cada hora, como a irregularidade do terreno, a maior massa de colmos, a maior profundidade do sulco, o que força o operador a posicionar o corte de base em maior contato com o solo. Todos esses fatores contribuem para o maior desgaste das facas.

Segundo Mello (2011), uma lâmina afiada exerce uma força menor no material a ser cortado, o que reduz a força de corte e, conseqüentemente, o desgaste do material cortante. Isso provoca menor dano ao colmo e menor perda de matéria prima.

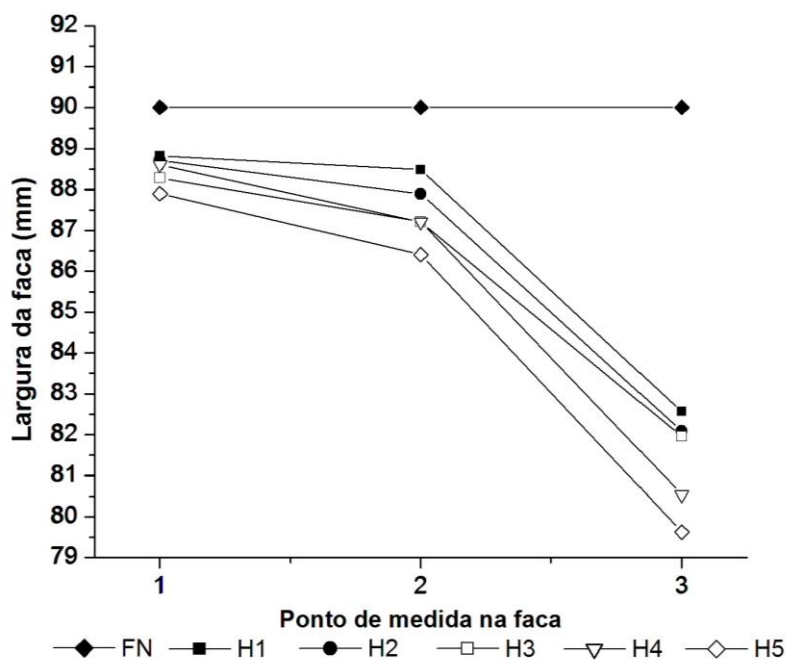


Figura 7. Desgaste das facas do corte de base na área 1 (1 = base, 2 = meio, 3 = ponta).

6.1.1.2. Porcentagem de falhas no canavial

Após a colheita, percebeu-se o aumento na porcentagem de falhas no canavial. Houve diferença estatística entre as médias anteriores e posteriores à passagem da colhedora (Tabela 2). Em todas as horas de trabalho da colhedora, aumentou a porcentagem de falhas após essa passagem, contudo, as diferenças entre o antes e o depois foram diminuindo (Figura 8). Esses dados indicam que o desgaste das facas do corte de base não aumentou a incidência das falhas. Segundo Mello e Harris (2003), a ação do corte de base pode provocar danos à soqueira, inclusive seu arranquio, o que tende a aumentar as falhas no canavial e a reduzir a população de plantas e, conseqüentemente, a produtividade.

A porcentagem de falhas não ter aumentado ao longo das horas de desgaste das facas deveu-se às diferentes condições da área colhida, que, segundo Stolf et al., (1991), pode ser plantio mal feito, seca, tráfego intensivo, nutrição inadequada, pragas, doenças, competição com plantas daninhas, entre outros. Por esse motivo, fez-se a avaliação antes da colheita, de modo a verificar a condição prévia do canavial, o que permite fazer comparações mais seguras com os dados posteriores à colheita. As diferenças estatísticas entre as horas de trabalho, antes e depois da colheita, demonstram a heterogeneidade do canavial quanto à porcentagem de falhas (Tabela 2).

Tabela 2. Medianas e comparação das médias gerais de porcentagem de falhas antes e depois da colheita na área 1.

Horas	Antes	Depois
	Medianas	
1	10,03 c	22,64 b
2	18,08 bc	22,07 b
3	33,13 a	44,45 a
4	24,73 ab	34,09 ab
5	24,78 ab	28,55 ab
	p = 0,072	p = 0,019
	Médias	
	22,63 a	29,59 b
		p = 0,001
Diferença (%)	30,69	

Medianas seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Friedman a 10%. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste T – pareado a 1%. Os valores na parte superior da tabela são medianas, os valores da parte de baixo da tabela são médias.

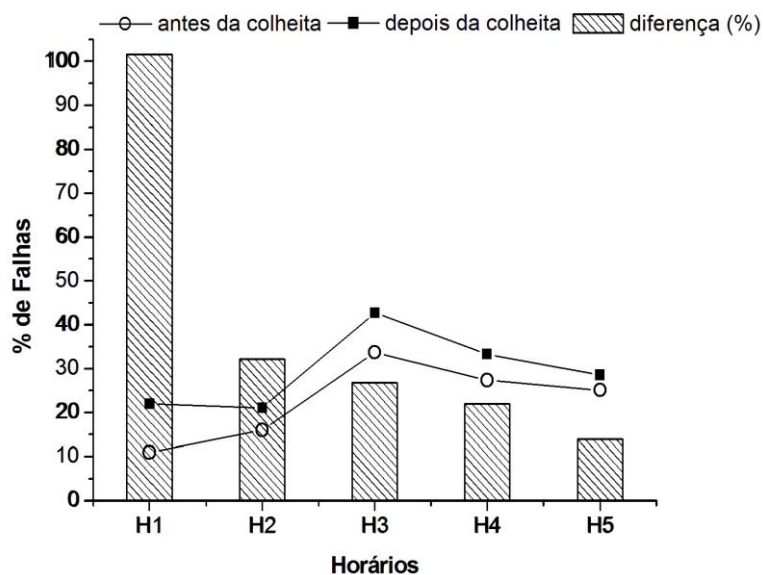


Figura 8. Médias da porcentagem de falhas antes e depois da passagem da colhedora na área 1.

6.1.1.3. Número de colmos antes e número de tocos após a colheita

Não houve diferença significativa entre o número de colmos por metro de fileira antes da passagem da colhedora nas horas avaliadas, o que indica que o estado de plantas era semelhante em toda a área avaliada. Também não ocorreu diferença significativa entre o número de tocos por metro de fileira após a passagem da colhedora nas horas avaliadas. Semelhante ao que ocorreu com a porcentagem de falhas, verificou-se diferença estatística, quando comparada às médias de número de colmos antes e número de tocos após a colheita (Tabela 3).

A diferença entre o número de colmos antes e o número de tocos após a passagem da colhedora indica a quantidade de tocos arrancados. Nesse caso, a diferença média, em porcentagem, foi de -7,70%, mantendo-se praticamente constante, entre -6,12% e -7,92%, da primeira até a quarta hora de trabalho da colhedora. Somente na quinta hora, notou-se aumento na diferença, -11%, indicando a maior quantidade de tocos arrancados nessa hora de trabalho (Figura 9).

Tais dados reforçam a hipótese de que o dano causado pelo corte de base é significativo, porém não foi intensificado pelo desgaste das facas, de forma que a faca causou o mesmo dano a soqueira durante o período avaliado. Somente na quinta hora houve aumento na diferença entre antes e depois da colheita, o que indica que o desgaste das facas começou a aumentar a quantidade de tocos arrancados a partir desse momento.

O aumento no número de tocos arrancados significa redução na qualidade da colheita mecanizada, pois o arranquio de tocos diminui a longevidade do canavial e, se incorporados à matéria prima, aumentam o teor de impurezas minerais e vegetais levados para a indústria (SALVI, 2007).

Tabela 3. Medianas e comparação das médias gerais de número de colmos antes e número de tocos após a colheita na área 1.

Horas	Antes		Depois	
	Medianas			
1	9,49		9,04	
2	10,16		9,65	
3	9,10		8,69	
4	8,99		8,67	
5	9,26		8,60	
	p = 0,126		p = 0,283	
Médias				
	9,34 a		8,62 b	
	p = 0,0001			
Diferença (%)	-7,70			

Medianas não diferem pelo teste de Friedman a 10%. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste T – pareado a 1%. Os valores na parte superior da tabela são medianas, os valores da parte de baixo da tabela são médias.

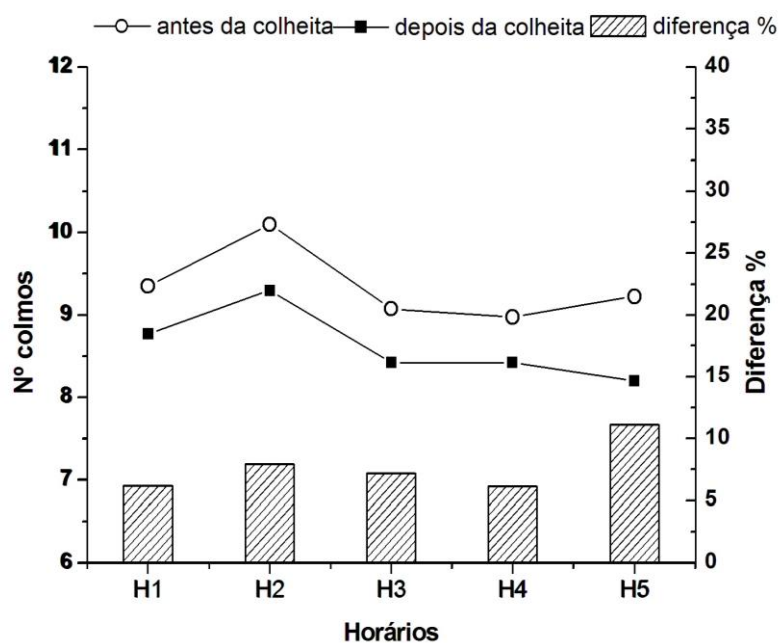


Figura 9. Médias do número de colmos antes e número de tocos após a colheita por metro de fileira e diferença em porcentagem na área 1.

6.1.1.4. Qualidade do corte

Verificou-se a redução da qualidade do corte, devido ao desgaste das facas do corte de base. Nas horas 1 e 2, observou-se melhor distribuição das notas, com porcentagens mais baixas das notas 3, 2 e 1, e mais altas das 4 e 5 (Figura 10).

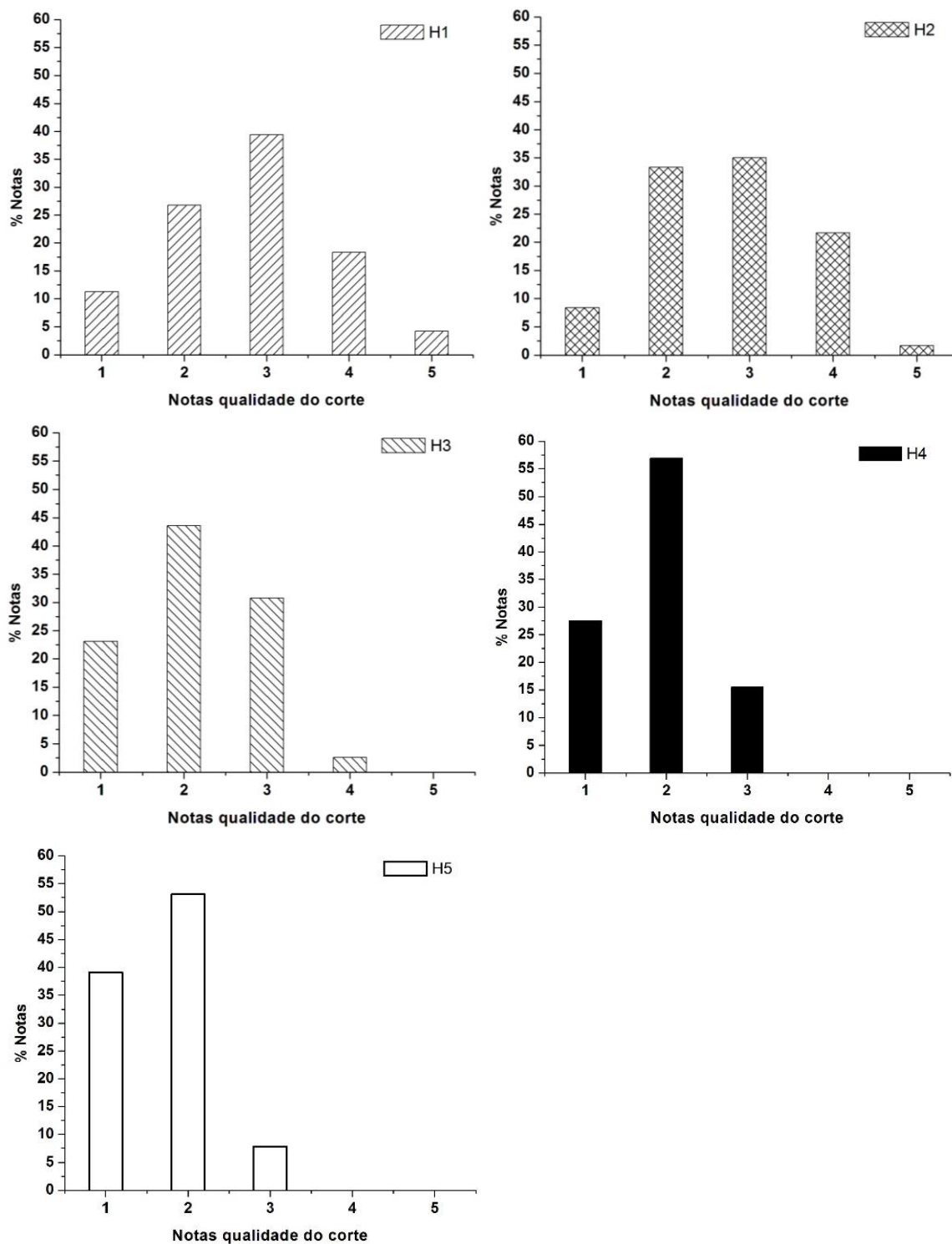


Figura 10. Notas de qualidade do corte de base na área 1 (5 ótimo – 1 muito ruim).

A partir da hora 3, não há mais notas 5 e nas horas 4 e 5 não há notas 4, além de aumentar as porcentagens de notas 2 e 1 (Figura 10). Com exceção das comparações entre as horas 1 e 2 e 4 e 5, houve diferença significativa entre todas as horas de trabalho na qualidade do corte (Tabela 4).

Essas análises indicam que piorou a qualidade do corte ao longo das horas de desgaste das facas, caracterizada pelo aumento do número de tocos estilhaçados e rachados, representados pelas notas 2 e 1. De forma geral, a qualidade do corte não foi boa, pois observa-se maiores porcentagens de notas baixas já nas primeiras horas de trabalho. O corte ideal ocorre quando a soqueira se encontra intacta e o toco, com dano mínimo, de forma que o aumento da força imposta à planta pela ação das lâminas menos afiadas favorece a ocorrência de maiores danos (MELLO; HARRIS, 2001). Tais danos podem causar aumento da incidência de pragas e doenças, remover novas gemas responsáveis pela brotação, danificar o sistema radicular e reduzir a produtividade da safra seguinte (KROES; HARRIS, 1994).

Tabela 4. Teste qui-quadrado para comparação da qualidade do corte nas horas de trabalho da colhedora na área 1.

Horas	2	3	4	5
1	Ns	<0,01	<0,01	<0,01
2		<0,01	<0,01	<0,01
3			<0,05	<0,01
4				ns

ns = não significativo a 5%, <0.01 = significativo a 1%, <0,05 = significativo a 5%.

6.1.1.5. Perdas no campo, perdas por toco e abalo do toco

Não se verificou diferença significativa nas perdas totais no campo entre as horas de trabalho da colhedora (Tabela 5). A média geral dos tratamentos foi de 4,24% de perdas, o que corresponde ao nível médio, de acordo com a metodologia do CTC (BENEDINI et al., 2009).

As perdas totais são formadas por vários componentes, entre eles, os tocos. São considerados pedaços de colmo presos à soqueira, menores que 20 cm

(BENEDINI et al., 2009). De todos esses componentes, os tocos relacionam-se, mais diretamente, ao corte de base da colhedora. Por isso, foi avaliado separadamente, para verificar se, ao longo das horas de trabalho da máquina e do desgaste das facas, aumentaria a quantidade de tocos arrancados.

Até a terceira hora de trabalho, aumentaram, constantemente, as perdas por toco, porém, na quarta e na quinta hora, esse número caiu (Figura 11). Não se verificou diferença significativa para perdas por toco entre as horas de trabalho da colhedora (Tabela 5), de forma que o desgaste das facas não aumentou esse tipo de perda. A parte das perdas totais compostas pelas perdas por toco também não aumentaram ao longo das horas avaliadas, representando cerca de 10% até a segunda hora, de 20% na terceira hora, de 8% e 5% na quarta e quinta horas, respectivamente.

Tabela 5. Medianas das porcentagens de perdas de matéria prima no campo totais e por toco na área 1.

Horas	Perdas (%)	Toco (%)	Toco abalado (%)
1	3,98	0,11	25,35
2	7,67	0,95	22,60
3	4,14	0,94	20,08
4	4,99	0,45	14,94
5	5,55	0,19	19,17
	P = 0,102	P = 0,321	P = 0,249

Medianas não diferem pelo teste de Friedman a 10%.

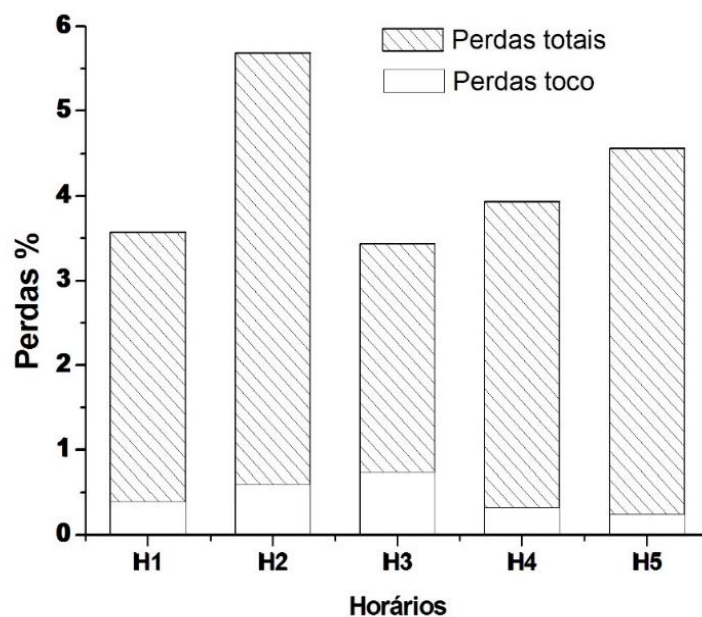


Figura 11. Médias das perdas de matéria prima no campo totais e por toco na área 1.

Verificou-se, também, que o aumento no desgaste das facas e das horas de trabalho da colhedora não teve impacto sobre a porcentagem de tocos abalados (Tabela 5), a qual, considerando a média de todas as horas de colheita, foi de 22,27%.

Os resultados sugerem não haver relação entre a porcentagem de tocos abalados e o desgaste das facas ao longo das horas de trabalho da colhedora (Figura 12), embora alguns autores, como Voltarelli et al. (2015), afirmem que o abalo de soqueira é afetado pelo desgaste das facas ao longo do tempo de uso.

Mesmo que se possa relacionar o aumento do desgaste das facas do corte de base à maior incidência de tocos abalados, essa variável tem influência de outros fatores, como a precisão da altura de corte, a habilidade do operador da colhedora, a sistematização do terreno, entre outros, o que pode aumentar ou diminuir sua incidência.

Esse resultado é coerente com os encontrados nas outras variáveis analisadas (porcentagem de falhas, número de colmos/tocos, perdas totais e por toco), que também não sofreram a influência do aumento do desgaste do corte de base, com exceção da qualidade do corte. Contudo, nota-se que, de forma geral, houve má qualidade do corte (Figura 10), o que pode justificar a alta média de tocos abalados.

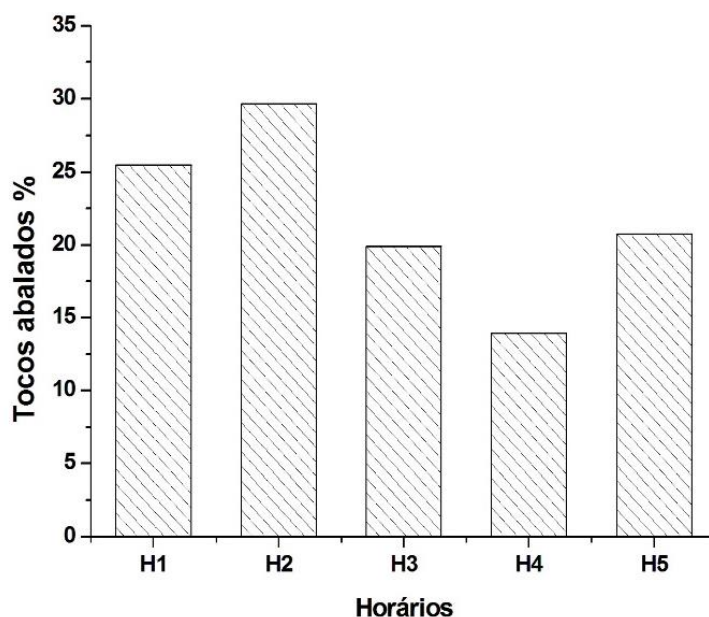


Figura 12. Médias da porcentagem de tocos abalados na área 1.

6.1.2. Área 2

6.1.2.1. Desgaste das facas do corte de base

Verificou-se maior desgaste na extremidade das facas, com maior redução da largura entre a faca nova (FN) e a hora 1, de 3,41 mm (Figura 13). Nas horas de trabalho seguintes, a redução foi menor, em média 1,34 mm por hora. A menor redução, de 0,26 mm, ocorreu entre as horas 4 e 5; já a maior redução, de 2,23 mm, entre as horas 3 e 4. No total, a redução da largura entre FN e a quinta hora foi de 8,79 mm.

O padrão de desgaste foi diferente da A1. Houve menor redução da largura da faca entre FN e a primeira hora, menor desgaste total e menor média de desgaste por hora. Essa característica pode ser atribuída ao número de fileiras cortadas pela máquina em uma passada, que na A1 eram duas, enquanto que na A2 apenas uma. Dessa forma, a quantidade de colmos cortados era maior, aumentando o desgaste das facas. Isso fica mais evidente no desgaste entre FN e a hora 1, em que A1 teve 7,4 mm de desgaste, enquanto A2 3,4 mm, aproximadamente a metade. Além disso, as facas na A2 só alcançaram o desgaste que A1 teve na primeira hora por volta da hora 4.

Além das diferenças do número de fileiras cortadas, outros fatores podem ser responsáveis pelas diversas variações no desgaste, como o fabricante das facas, as características distintas da área, às colhedoras diferentes e operadores da máquina diferentes. Cassia et al. (2014) também encontraram variações no desgaste nas diferentes faces da faca do corte de base, atribuídas ao maior tempo que as facas passaram em contato com o solo, devido as condições de preparo do talhão ou do próprio operador que trabalhou no período avaliado.

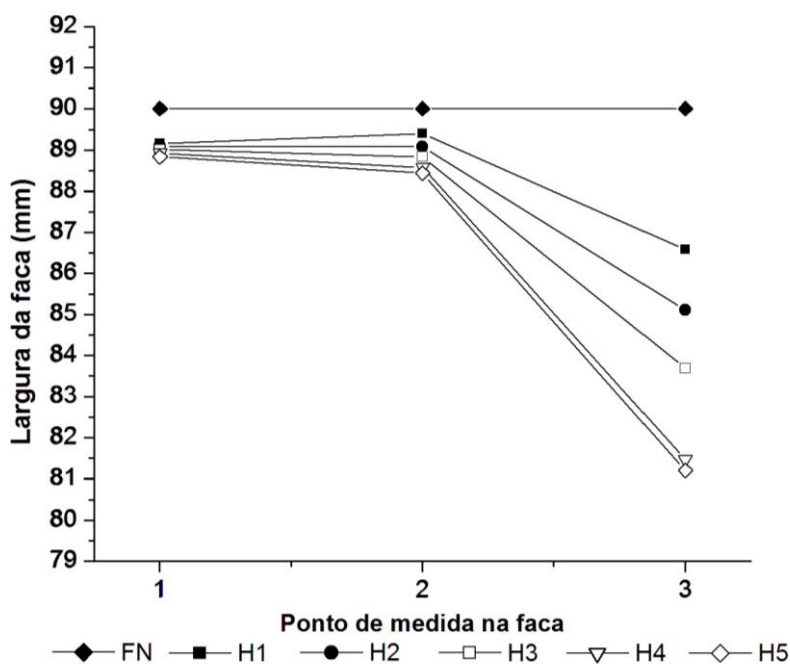


Figura 13. Desgaste das facas do corte de base na área 2 (1 = base, 2 = meio, 3 = ponta).

6.1.2.2. Porcentagem de falhas

Não houve aumento da porcentagem de falhas após a colheita. Quando comparadas as médias de antes e de depois da colheita, não se verificou diferença estatística, apesar da diferença de 20,92 %. Também não houve diferença estatística entre as horas de trabalho, antes e depois da colheita (Tabela 6). Analisando as diferenças entre antes e depois da colheita, apenas na hora 3 houve diferença mais acentuada, de 87%; nas demais horas, os aumentos foram menores, aproximando-se de zero nas horas 1 e 5 (Figura 14). A ação do corte de base e o desgaste das facas tendem a aumentar a porcentagem de falhas em um canavial, provocando menor população de plantas e menor produtividade (MELLO; HARRIS, 2001), contudo, as condições variáveis da área podem ter contribuído para a incidência de falhas não aumentar ao longo das horas de trabalho da colhedora.

Tabela 6. Medianas e comparação das médias gerais de porcentagem de falhas antes e depois da colheita na área 2.

Horas	Antes	Depois
Medianas		
1	12,46	11,97
2	8,02	7,45
3	9,58	11,49
4	16,39	18,15
5	23,50	20,94
	p = 0,342	p = 0,266
Médias		
	13,38	16,18
		p = 0,113
Diferença (%)	20,92	

Medianas não diferem pelo teste de Friedman a 10%. Médias não diferem pelo teste T – pareado a 5%. Os valores na parte superior da tabela são medianas, os valores da parte de baixo da tabela são médias.

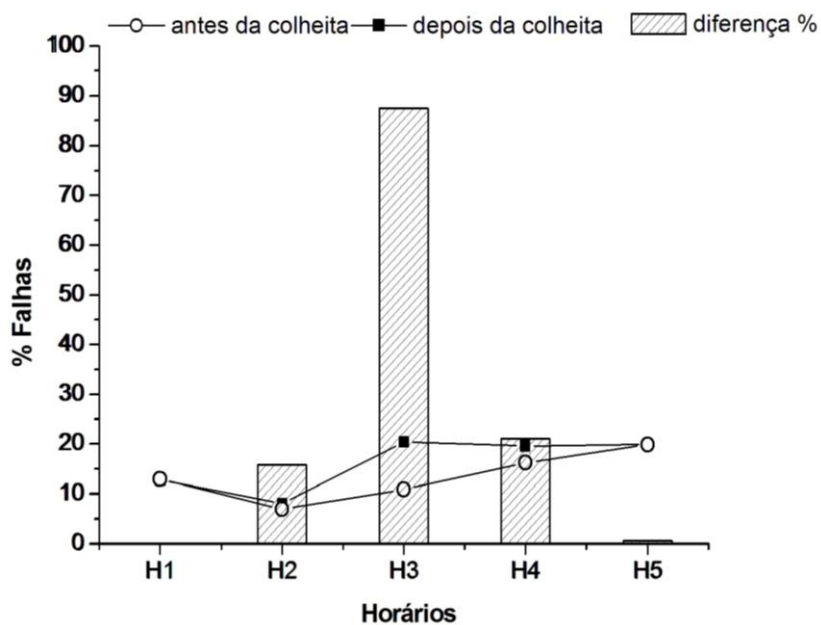


Figura 14. Médias da porcentagem de falhas antes e depois da colheita na área 2.

6.1.2.3. Número de colmos antes e número de tocos após a colheita

Evidenciou-se a redução do número de tocos, em relação ao de colmos existentes antes da colheita. Verificou-se diferença significativa entre as médias do número de colmos antes e do número de tocos após a passagem da colhedora (Tabela 7). Entre as horas de colheita, antes e depois do corte, não houve diferença significativa, o que mostra que a área tinha um estande homogêneo de plantas.

A diferença, em porcentagem, entre o número de colmos antes e o número de tocos depois da colheita, apresentou valores semelhantes, próximos a 10%, da segunda até a quarta hora (Figura 15). Já nas horas 1 e 5, a redução foi menor, por volta de 1,6%, seguindo o mesmo comportamento da porcentagem de falhas (Figura 14), o que pode indicar relação entre essas variáveis.

A quantidade de tocos arrancados, representados pelas diferenças entre antes e depois da colheita, aumentou devido à ação do corte de base; todavia o desgaste das facas, ao longo das horas de trabalho da colhedora, não intensificou esse dano.

Tabela 7. Medianas e comparação das médias gerais de porcentagem de número de colmos antes e número de tocos após a colheita na área 2.

Horas	Antes	Depois
Medianas		
1	8,76	8,87
2	11,26	10,02
3	10,95	10,18
4	10,32	9,02
5	9,16	9,11
	p = 0,126	p = 0,809
Médias		
	10,32 a	9,58 b
		p = 0,002
Diferença (%)	-7,21	

Medianas não diferem pelo teste de Friedman a 10%. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste T – pareado a 1%. Os valores na parte superior da tabela são medianas, enquanto os da parte de baixo da tabela são, médias.

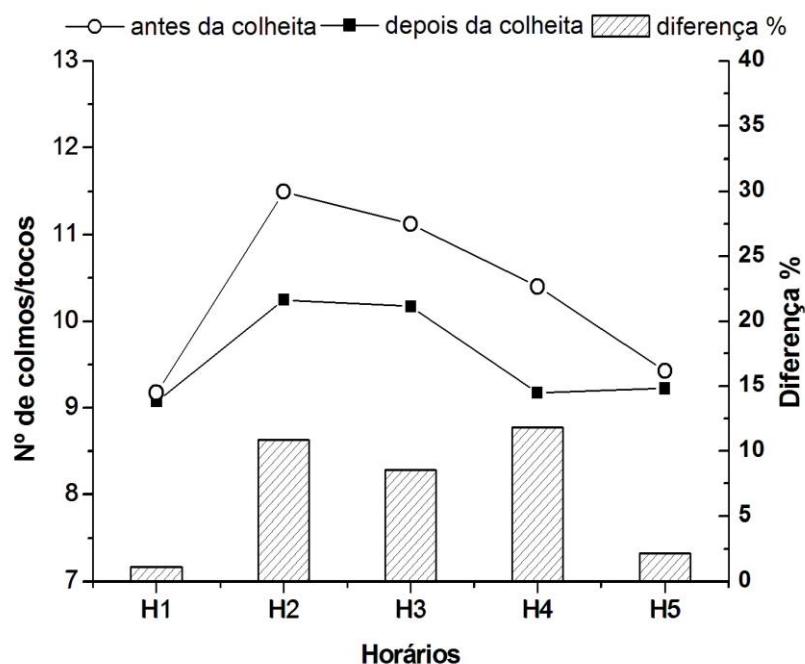


Figura 15. Médias do número de colmos antes da colheita, número de tocos após a colheita e diferença em porcentagem na área 2.

6.1.2.4. Qualidade do corte

A qualidade do corte reduziu-se devido ao desgaste das facas do corte de base. Nas três primeiras horas de trabalho, houve melhor distribuição das notas de qualidade do corte. Na hora 1, houve maior porcentagem de notas 5 em relação às demais horas. As horas 2 e 3 foram semelhantes, porém com menos notas 4 e 5. Já nas horas 4 e 5, evidenciou-se a tendência de diminuição mais acentuada das notas 4 e 5, enquanto as notas 1 e 2 aumentaram (Figura 16). Fazendo a comparação entre cada hora de colheita, só houve diferença significativa entre a hora 1 e as horas 4 e 5 (Tabela 8), diferente da A1, em que a maior parte das comparações foi significativa.

Observou-se melhor distribuição das notas, ou seja, a redução das notas boas e o aumento das notas ruins foram menos acentuados ao longo das horas de trabalho da colhedora, o que indica melhor qualidade do corte. De toda forma, evidencia-se, pela redução das melhores notas e o aumento das piores, a queda da qualidade do corte, à medida que aumenta o desgaste das facas de corte de base (Figura 16).



Figura 16. Notas de qualidade do corte de base na área 2 (5 ótimo – 1 muito ruim).

Tabela 8. Teste qui-quadrado para comparação da qualidade do corte nas horas de trabalho da colhedora na área 2.

Horas	2	3	4	5
1	ns	Ns	<0,05	<0,05
2		Ns	ns	ns
3			ns	ns
4				ns

ns = não significativo a 5%, <0,05 = significativo a 5%.

6.1.2.5. Perdas totais, perdas por toco e abalo de toco

Ocorreu diferença significativa para perdas totais, entre as horas de trabalho da colhedora, com a hora 4 diferenciando-se das horas 1 e 2. Já a perda por tocos não apresentou nenhuma diferença significativa entre as horas de trabalho da colhedora (Tabela 9). As perdas totais aumentaram até a hora 3 e reduziram-se nas seguintes. Para perdas por toco, o aumento ocorreu até a hora 2, com redução nas demais horas (Figura 17). A média geral das perdas totais foi de 4,21%, considerado como nível médio pela metodologia do CTC (BENEDINI, 2009).

As perdas por toco representaram 13% na hora 1, 40% na hora 2, 11% na hora 3, 4,5% na hora 4 e 6% na hora 5, da composição das perdas totais. Esses números mostram que as perdas por toco não aumentaram a composição das perdas totais ao longo das horas de trabalho da colhedora.

Tanto para perdas totais quanto para perdas por toco, os menores valores foram verificados nas horas 4 e 5 (Figura 17), mostrando não ter havido aumento devido ao desgaste das facas do corte de base. Esses dados são contrários aos esperados, pois a redução da qualidade do corte também tem relação com o aumento das perdas. O toco rachado ou fragmentado indica que a cana colhida também está em estado semelhante, o que pode aumentar o nível de perda, pois, quando a cana é picada, os primeiros rebolos se dividem em duas ou mais partes e são mais facilmente carregados junto com a palha pela ação dos extratores (MELLO, 2011).

Tabela 9. Medianas das porcentagens de perdas totais de matéria prima no campo, por toco e tocos abalados na área 2.

Horas	Perdas (%)	Toco (%)	Tocos abalados (%)
1	4,04 a	0,37	11,20
2	5,45 a	2,10	15,34
3	3,12ab	0,02	10,57
4	1,94 b	0,04	13,18
5	3,37ab	0,14	11,57
	P = 0,066	P = 0,189	P = 0,558

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Friedman a 5%.

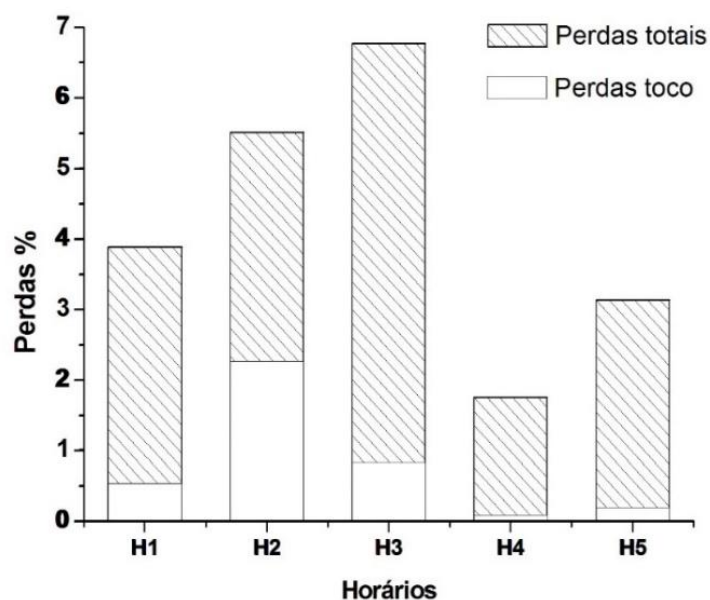


Figura 17. Médias das perdas totais de matéria-prima no campo e por toco na área 2.

O abalo de tocos não diferiu estatisticamente entre as horas de trabalho da colhedora (Tabela 9). A porcentagem geral de tocos abalados de todas as horas de trabalho foi de 13,49%. Também não se verificou o aumento da porcentagem de tocos abalados, devido ao maior desgaste das facas do corte de base da colhedora (Figura 18). Esse resultado assemelha-se aos observados nas outras variáveis avaliadas (porcentagem de falhas, número de colmos/número de tocos, perdas totais e por toco), que também não foram influenciadas pelo aumento do desgaste das facas. Embora tenha ocorrido piora da

qualidade do corte ao longo das horas de trabalho (Figura 16), foi menos acentuada, o que pode ter causado menor abalo dos tocos, se comparado a A1.

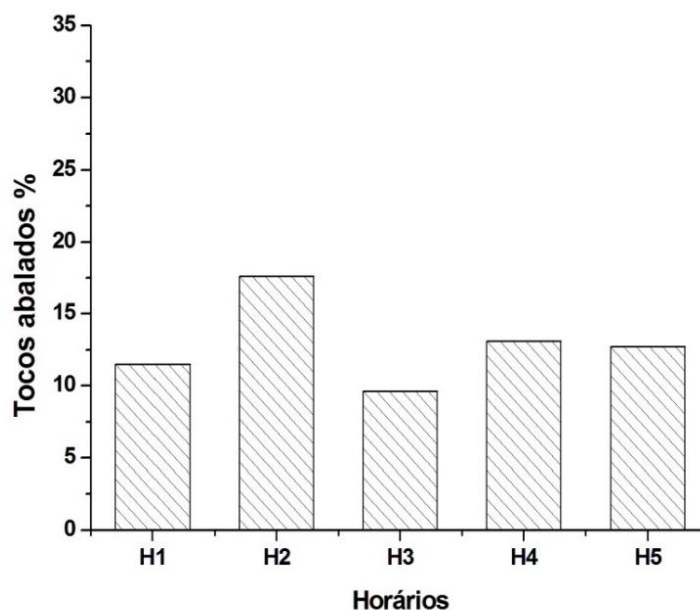


Figura 18. Médias da porcentagem de tocos abalados na área 2.

6.2. Desenvolvimento da cultura e segunda colheita

6.2.1. Área 1

6.2.1.1. Porcentagem de falhas

Percebeu-se a tendência de redução da porcentagem de falhas, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, em todas as horas de trabalho. Os valores das horas 1 e 2 foram os menores em todas as épocas de avaliação (Figura 19). Não se verificou diferença significativa entre as horas de trabalho em todas as datas de avaliação (Tabela 10).

Aos 62 DAC, pôde notar-se o reflexo da condição de cada tratamento logo após a colheita, quando as horas 3, 4 e 5 tiveram as maiores porcentagens de falhas, enquanto as horas 1 e 2, as menores (Figura 8 e Figura 19). Aos 121 DAC, verificou-se a redução da porcentagem de falhas para todas as horas de trabalho da colhedora. Aos 181 DAC, houve pequena tendência de aumento, mais acentuada nas horas

1 e 2. Aos 326 DAC, a redução mais acentuada foi nas horas 3 e 4; nas demais, a porcentagem de falhas manteve valores semelhantes.

Tabela 10. Medianas da porcentagem de falhas em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 1.

Horas	62 dias	121 dias	181 dias	326 dias
1	30,77	14,70	22,38	16,70
2	21,30	16,23	25,30	10,80
3	35,75	31,64	33,76	23,63
4	37,42	26,87	30,04	16,56
5	27,91	25,46	30,12	25,99
	p = 0,759	p = 0,335	p = 0,592	p = 0,777

Medianas não diferem pelo teste de Friedman a 10%

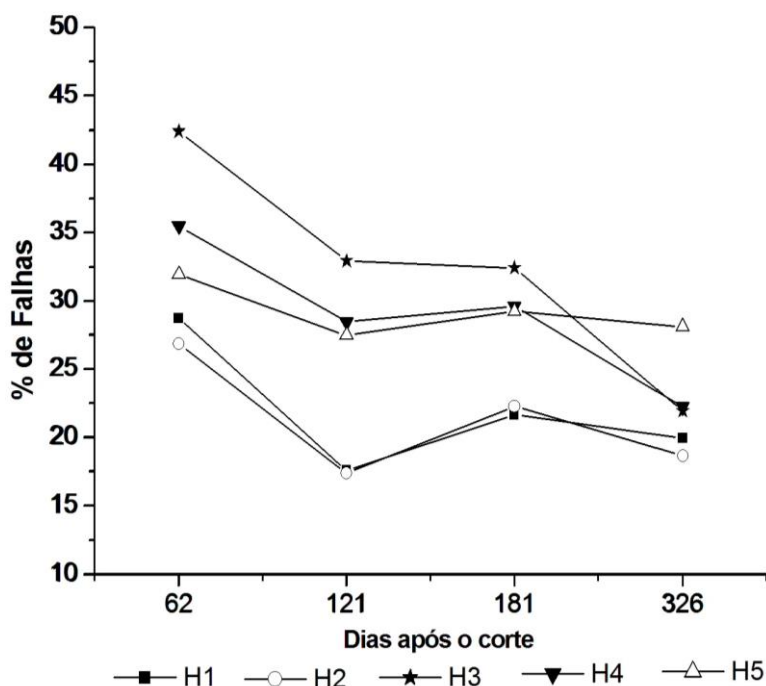


Figura 19. Médias da porcentagem de falhas, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 1.

Esse desempenho mostra não ter havido influência do desgaste das facas do corte de base sobre a porcentagem de falhas, ao longo do ciclo da cultura; ademais, evidencia que esses valores sofrem mais influência das condições de falhas na

ocasião da colheita. Também é possível observar a característica de redução de falhas ao longo do ciclo da cultura, o que sugere que a cana-de-açúcar possua a característica da plasticidade e, portanto, a capacidade de preencher esses espaços vazios. De fato, os espaços vazios das falhas produzem o maior perfilhamento nas touceiras adjacentes (STOLF et al., 1986), devido à maior exposição à luz e à menor competição por água e nutrientes, o que pode contribuir para certa redução do tamanho dessas falhas.

6.2.1.2. Tamanho das falhas

Não ocorreu diferença estatística para a variável tamanho das falhas (Tabela 11). Nesse sentido, a hora 2 de trabalho apresentou tendência de menor tamanho em todas as avaliações (Figura 20); com exceção dela, o tamanho das falhas manteve-se estável durante o período do experimento.

Apesar da porcentagem de falhas ter diminuído ao longo do ciclo da cultura, o mesmo não ocorreu, de forma acentuada, com o tamanho das falhas. Isso ocorreu porque o preenchimento dos espaços pelo perfilhamento da cana causou a redução do número de falhas, pois recuperou totalmente algumas das menores, devido a capacidade de plasticidade e compensação da cana-de-açúcar. Dessa forma, como o tamanho das falhas é calculado dividindo-se o comprimento de falhas pelo número de falhas, a redução desses dois fatores resulta que o tamanho das falhas não diminui na mesma proporção da porcentagem de falhas.

Tabela 11. Medianas do tamanho das falhas (m) em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 1.

Horas	62 dias	121 dias	181 dias	326 dias
1	0,79	0,88	0,81	0,73
2	0,45	0,62	0,60	0,46
3	0,79	0,79	0,72	0,81
4	0,66	0,83	0,75	0,70
5	0,93	0,76	0,70	0,76
	P = 0,286	P = 0,287	P = 0,663	P = 0,553

Medianas não diferem pelo teste de Friedman a 10%

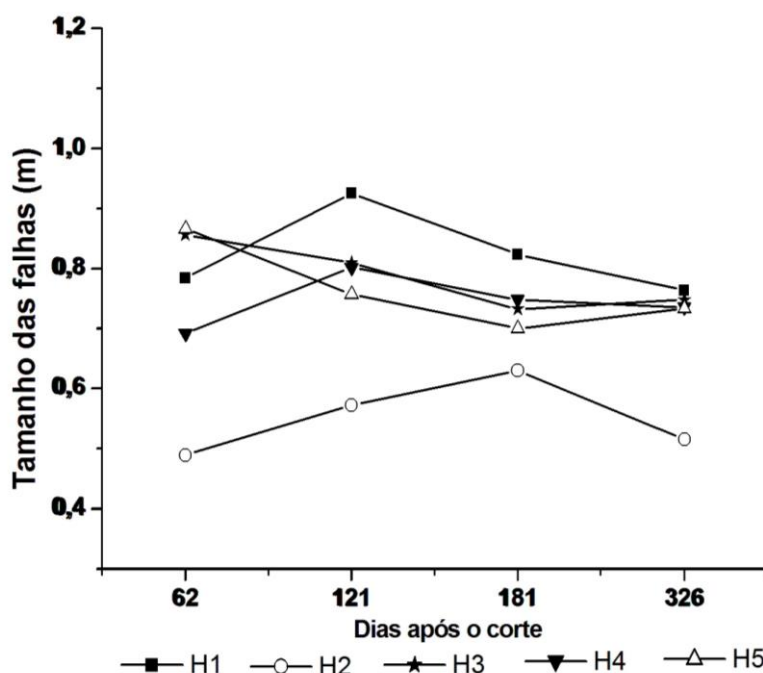


Figura 20. Médias do tamanho das falhas, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 1.

6.2.1.3. Número de perfilhos

Cresceu o número de perfilhos em todos os tratamentos até os 121 DAC; depois houve redução acentuada aos 181 DAC, tendendo à estabilização aos 326 DAC (Figura 21). Esse comportamento constitui característica fisiológica da cana-de-açúcar, como observado nos estudos de vários autores (COSTA; CHRISTOFOLETI, 2005; SILVA, 2007, citados por SILVA et al., 2008).

Aferiu-se diferença significativa entre as horas de trabalho da colhedora, aos 62 e aos 326 DAC (Tabela 12). Aos 62 DAC, as horas de desgaste mais intenso das facas (3, 4 e 5) tiveram maior número de perfilhos, provavelmente em função da maior quantidade de falhas, observada nessas horas de trabalho. Como decorrência, percebeu-se maior perfilhamento inicial, devido à característica de plasticidade da cana-de-açúcar; porém, com o desenvolvimento das touceiras, estabeleceu-se competição entre os perfilhos, levando à acentuada redução nas avaliações seguintes. Assim, aos 326 DAC, as horas 4 e 5 tiveram menor número de perfilhos, o que indica a influência do desgaste do corte de base sobre a população final de plantas (Figura 21).

Tabela 12. Medianas do número de perfilhos por metro em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 1.

Horas	62 dias	121 dias	181 dias	326 dias
1	11,88 ab	17,43	10,74	9,11 ab
2	10,10 b	18,33	11,66	9,27 a
3	14,08 ab	16,90	10,75	9,48 a
4	16,61 a	18,26	10,18	8,13 c
5	14,13 ab	16,38	10,65	8,77 bc
	P = 0,009	P = 0,938	P = 0,437	P = 0,067

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Friedman a 1 e 10%.

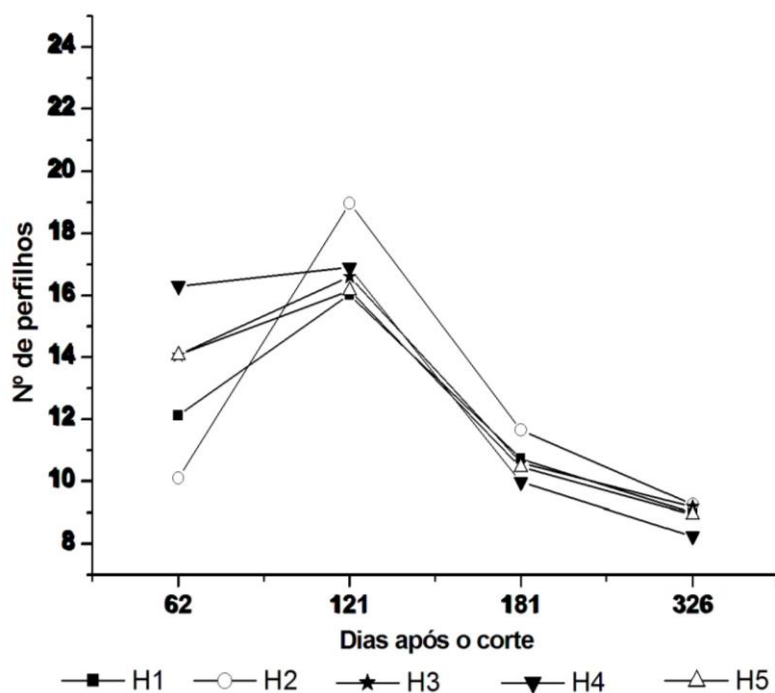


Figura 21. Médias do número de perfilhos por metro, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 1.

6.2.1.4. Altura das plantas

O desgaste das facas do corte de base reduziu a altura das plantas. Em todas as horas de trabalho houve tendência de crescimento linear (Figura 22). Ocorreu diferença estatística entre as horas de trabalho da colhedora em todas as datas de avaliação (Tabela 13).

Aos 121 DAC, quanto à altura das plantas, verificou-se a menor diferença entre as horas: 9 cm entre a maior (hora 3) e a menor (hora 1) altura. Já aos 181 DAC, aferiu-se a maior diferença entre as horas, com 24 cm entre a maior (hora 3) e a menor (hora 5) altura. Nos 60 dias entre os 121 e os 181 DAC, houve crescimento intenso da cultura, variando de 86 a 106 cm. Nesse período, a taxa de crescimento foi de 1,6 cm por dia, baseando-se na divisão do crescimento total no período pelo número de dias do período. As horas 1, 2 e 3 exibiram os maiores crescimentos em altura nessa fase, enquanto as horas 4 e 5, os menores incrementos. Esse comportamento pode relacionar-se à intensificação do dano causado pelo desgaste das facas do corte de base nessas horas de trabalho. Aos 326 DAC, data da segunda colheita, só se acusou diferença estatística entre as horas 3 e 5. A hora 5 mostrou resultado bem inferior ao das demais, com 9 cm a menos que a hora 4, segunda menor altura, e 18 cm a menos que a hora 3, a maior altura na avaliação. O incremento em altura entre os 181 e os 326 DAC foi em torno de 1 m, com pouca diferença entre as horas. Nos 145 dias entre essas datas, a cultura cresceu, em média, 0,69 cm ao dia, devido as condições climáticas menos favoráveis, como temperatura declinante e redução da precipitação.

A altura final dos colmos constitui um dos componentes da produtividade (LANDELL; SILVA, 2004), de forma que a redução causada pelo desgaste das facas do corte de base pode refletir no rendimento final da cultura.

Tabela 13. Medianas da altura das plantas em três épocas de avaliação após a colheita na área 1.

Horas	121 dias	181 dias	326 dias
1	0,54 b	1,60 a	2,60 ab
2	0,56 b	1,52 b	2,55 ab
3	0,63 a	1,66 a	2,62 a
4	0,60 a	1,50 b	2,53 ab
5	0,56 b	1,42 b	2,44 b
	P = 0,025	P = 0,0001	P = 0,02

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Friedman a 1 e 5%

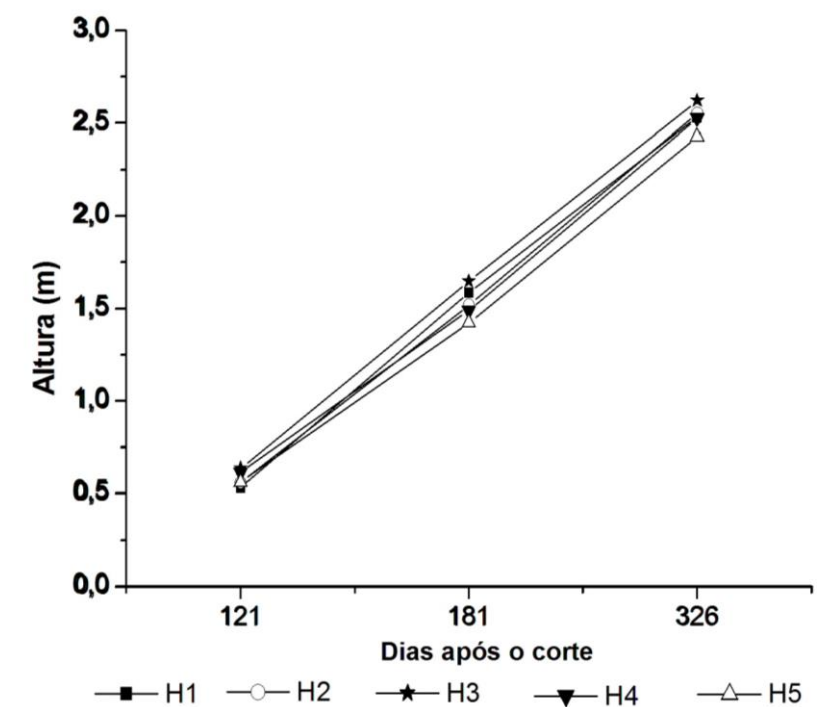


Figura 22. Média da altura das plantas, em três épocas de avaliação, após a colheita na área 1.

6.2.1.5. Produtividade

A produtividade da cultura reduziu-se devido ao aumento do desgaste das facas do corte de base. As horas 2 e 3 diferenciaram-se da 4 e da 5. A hora 1 teve valor intermediário, não apresentando diferença estatística das demais horas (Tabela 14). A diferença entre a maior (hora 2) e a menor (hora 4) produtividade foi $25,6 \text{ t ha}^{-1}$. Formaram-se dois grupos de produtividade (Figura 23), o das maiores, composto pelas horas 2 e 3, e o das menores, formado pelas horas 1, 4 e 5.

A hora 1 teve baixa produtividade, se comparada às horas de maior rendimento (horas 2 e 3), apesar da condição da faca mais nova. Segundo Mello e Harris (2003), com o formato da lâmina reto, ocorre o corte por impacto, gerando uma força alta, devido à grande área de contato entre a lâmina e a cana, pois todas as fibras são envolvidas no corte ao mesmo tempo. Essas condições geram danos, o que pode ter contribuído para a menor produtividade na hora 1 (Tabela 14), quando o formato da faca ainda era reto.

A partir da hora 2, o desgaste das facas tornou-as arredondadas, formando um ângulo que permite o corte por deslizamento. Nessa condição a força envolvida no corte é menor, poucas fibras da cana estão envolvidas no processo ao mesmo

tempo. Enquanto a facas estão afiadas, as fibras da cana aderem a lâmina, cortando por deslizamento e gerando menos danos e maior produtividade (MELLO; HARRIS, 2003) conforme ocorreu nas horas 2 e 3 (Tabela 14).

Nas horas 4 e 5, o desgaste das facas tornou-as cegas, perdendo a capacidade de corte. Nessa condição ocorre o deslizamento da cana e não o corte, empurrando o colmo de lado (KROES; HARRIS, 1994), aumentando os danos e reduzindo a produtividade (Tabela 14).

Comparando os dados de produtividade às outras variáveis avaliadas, percebe-se uma relação com o número de final colmos, já que as horas 1, 2 e 3 apresentaram os maiores valores, enquanto as 4 e 5, os menores (Tabela 12 e Tabela 14). De fato, o número de perfilhos representa a população de plantas na área, ligada, diretamente, à produtividade.

Tabela 14. Medianas da produtividade final de colmos na área 1.

Horas	Produtividade (t ha⁻¹)
1	122,40 ab
2	134,87 a
3	133,55 a
4	109,28 b
5	117,99 b
P = 0,078	

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Friedman a 10%.

A produtividade da cultura teve resultados variáveis ao longo das horas de trabalho. Na Figura 22, nota-se que há comportamento inverso da produtividade em relação ao desgaste das facas, o que mostra que quando há maior desgaste das facas do corte de base ocorre redução da produtividade final de colmos. Da mesma forma, quando esse desgaste é menor, a produtividade se mantém elevada, o que confirma a influência do desgaste das facas do corte de base na produtividade da cultura.

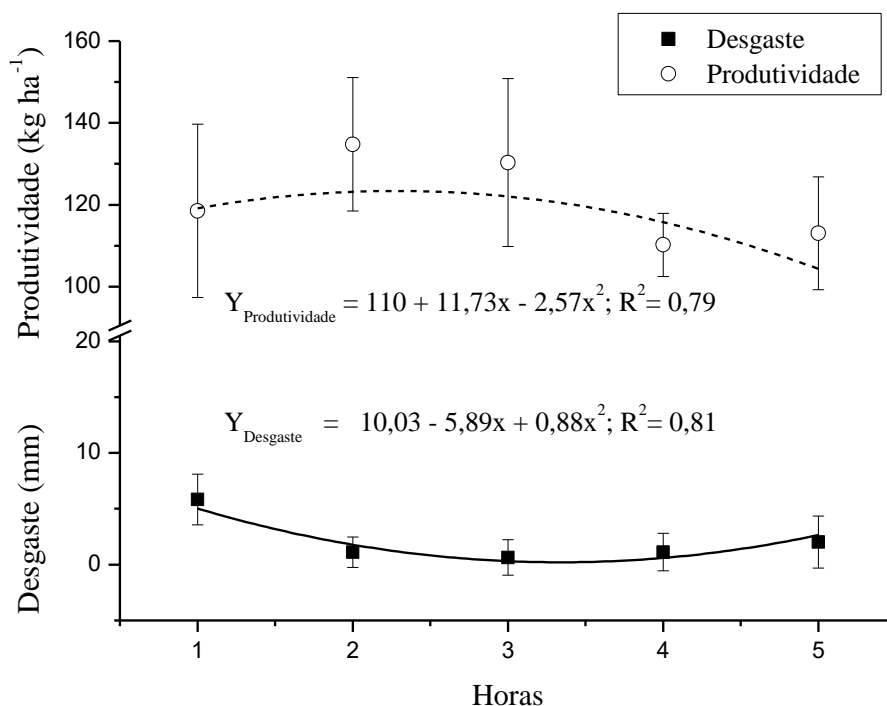


Figura 23. Regressões quadráticas da produtividade final de colmos e do desgaste das facas do corte de base na área 1.

6.2.2. Área 2

6.2.2.1. Porcentagem de falhas

Não se verificou diferença significativa entre as horas de trabalho da colhedora em todas as datas de avaliação (Tabela 15). A porcentagem de falhas manteve-se estável em todas as horas de trabalho até os 374 DAC, com exceção das horas 3 e 4, que tiveram grande discrepância na última avaliação. A hora 3 apresentou as maiores porcentagens de falhas ao longo das avaliações, a hora 4, as mais baixas, enquanto as horas 1, 2 e 5 apresentaram valores intermediários, variando entre 4 e 8% de falhas. Essa distribuição dos valores mostra que o desgaste das facas do corte de base não influenciou no aumento da porcentagem de falhas ao longo do ciclo da cultura (Figura 24). Também não houve tendência de preenchimento das falhas ao longo do ciclo, como ocorreu em A1, o que sugere que essa característica também pode ser influenciada por outros fatores, como a variedade e o espaçamento, entre outros.

Tabela 15. Medianas da porcentagem de falhas em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 2.

Horas	60 dias	121 dias	183 dias	374 dias
1	3,11	1,62	3,02	2,20
2	5,86	6,31	5,79	3,67
3	15,56	14,22	10,43	0,00
4	0,00	0,18	0,00	3,08
5	9,02	6,22	6,31	2,40
	P = 0,197	P = 0,445	P = 0,398	P = 0,521

Medianas não diferem pelo teste de Friedman a 10%

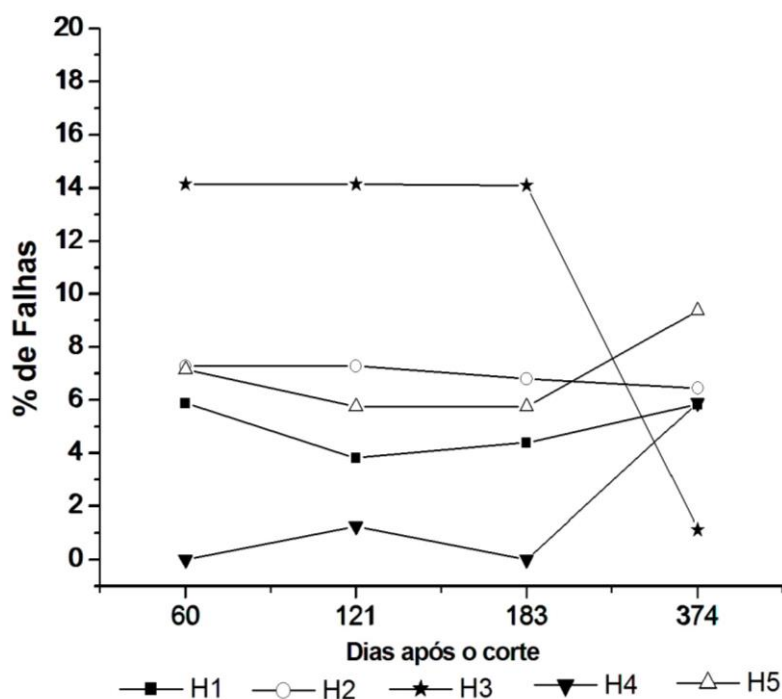


Figura 24. Médias da porcentagem de falhas, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 2.

6.2.2.2. Tamanho das falhas

Verificou-se diferença significativa no tamanho médio das falhas somente aos 60 DAC (Tabela 16), embora não pareça ter havido influência do desgaste do corte de base sobre o aumento nesse tamanho (Figura 25). Semelhante à porcentagem de

falhas, os valores ficaram praticamente estáveis até os 183 DAC. De forma geral, o tamanho das falhas manteve-se estável ao longo do ciclo, o que indica não haver a tendência de preenchimento dessas falhas pela cultura.

Tabela 16. Medianas do tamanho médio das falhas (m) em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 2.

Horas	60 dias	121 dias	183 dias	374 dias
1	0,35 bc	0,34	0,33	0,05
2	0,60 ab	0,64	0,54	0,16
3	0,69 a	0,74	0,67	0,00
4	0,00 c	0,18	0,00	0,29
5	0,57 ac	0,36	0,31	0,13
	P = 0,094	P = 0,227	P = 0,290	P = 0,438

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Friedman a 1%.

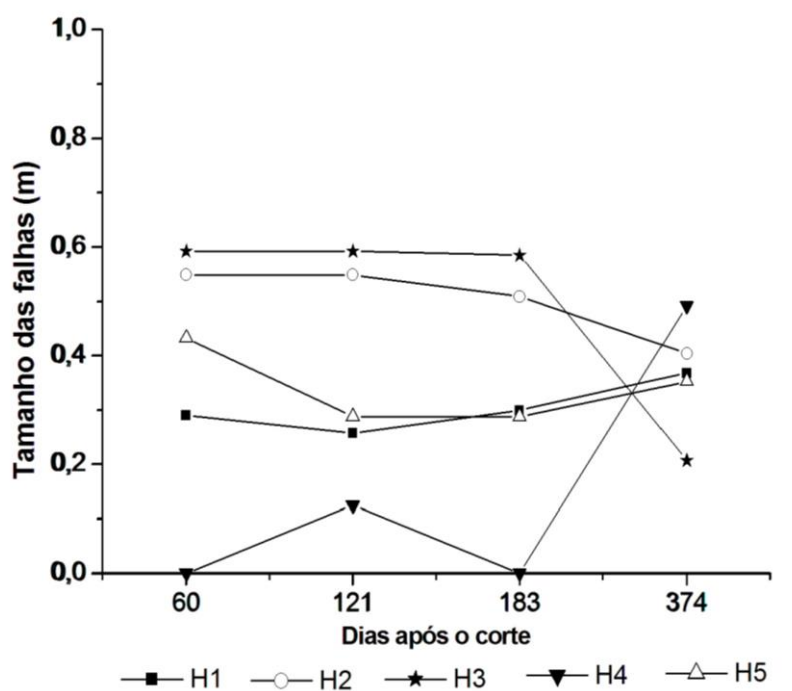


Figura 25. Médias do tamanho das falhas, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 2.

6.2.2.3. Número de perfilhos

O desgaste das facas do corte de base não teve influência no número de perfilhos, assim como não se percebeu diferença significativa entre as horas de trabalho da colhedora, em todas as datas de avaliação (Tabela 17). O pico de perfilhamento ocorreu por volta dos 60 DAC, seguido de redução contínua até os 374 DAC (Figura 26). Também ocorreu maior número de perfilhos, se comparado ao de A1. O perfilhamento em cana-de-açúcar pode ser influenciado por vários fatores, como a variedade, a época de corte, o espaçamento entre fileiras, entre outros, que podem ter causado a antecipação do pico de perfilhamento (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010).

As variedades de cana têm características distintas de perfilhamento. Em variedades sob colheita mecanizada, essa característica pode ser acentuada, seja pelo efeito da camada de palhiço, que pode interferir na velocidade de brotação (CAMPOS, 2010), seja pela resistência da variedade aos danos causados à soqueira (COSENZA, 2010).

A época de colheita também pode influenciar o padrão de perfilhamento, devido a diferenças de temperatura e umidade (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010). No caso de A2, a cana foi colhida em setembro de 2013 (Tabela 1), quando a temperatura média foi 21,5 °C e a precipitação 110 mm, ocorrendo chuva apenas 9 DAC, condição melhor do que a colheita de A1, em agosto de 2013, quando não houve precipitação, ocorrendo a primeira chuva 34 DAC e a temperatura média de 19,7 °C (Figura 1). Essas condições climáticas menos restritivas podem ter contribuído para o maior número de perfilhos iniciais em A2. Silva et al. (2008) também encontraram maior perfilhamento para a cana-de-açúcar colhida em setembro, comparado às colheitas de julho e maio.

O espaçamento entre fileiras pode ter papel importante no perfilhamento: espaçamentos mais estreitos tendem a produzir menor quantidade de perfilhos por metro de fileira, porém são compensados pelo aumento da metragem de sulcos por hectare, resultando em maior produtividade (GRAZIANO, 1988).

Dessa forma, o maior espaçamento entre fileiras, aliado à melhor condição climática encontrada, além de um possível efeito da variedade, podem ter contribuído para o maior número de perfilhos ao longo do ciclo e para a produção máxima de perfilhos, por volta dos 60 DAC.

Tabela 17. Medianas do número de perfilhos por metro, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 2.

Horas	60 dias	121 dias	183 dias	374 dias
1	16,77	13,60	11,68	10,90
2	20,22	13,73	13,46	11,27
3	16,80	13,08	12,42	11,41
4	22,56	14,51	13,49	10,82
5	19,15	13,38	12,50	11,90
	P = 0,221	P = 0,169	P = 0,406	P = 0,726

Medianas não diferem pelo teste de Friedman a 10%

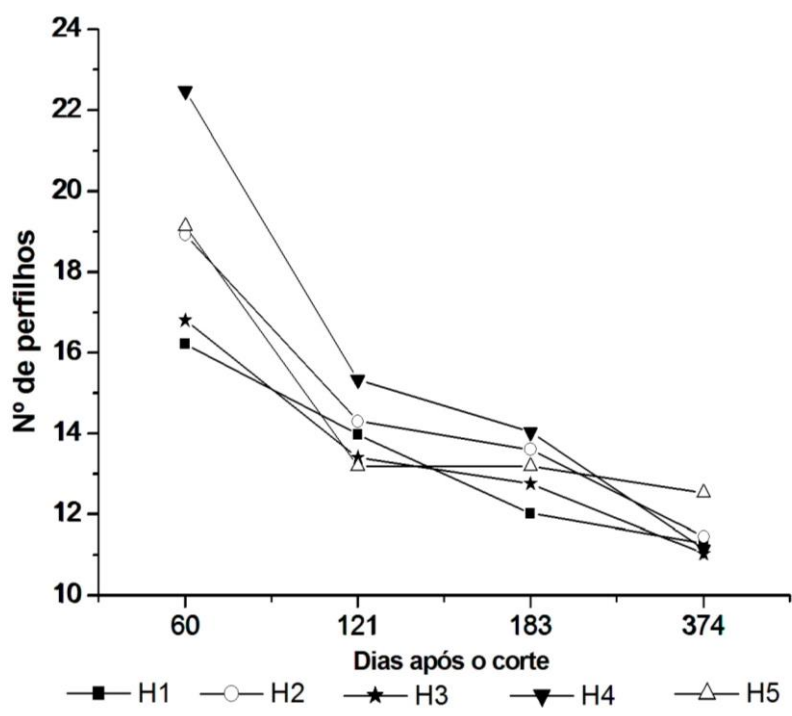


Figura 26. Médias do número de perfilhos por metro, em quatro épocas de avaliação, após a colheita na área 2.

6.2.2.4. Altura das plantas

Reduziu-se a altura das plantas, devido ao desgaste das facas do corte de base. Em todas as horas de trabalho, verificou-se tendência semelhante de crescimento, praticamente linear (Figura 27), e diferença estatística entre as horas de trabalho, aos 183 e 374 DAC (Tabela 18).

Cresceu intensamente a cultura, em média 1,8 cm por dia, nos 62 dias entre os 121 e 183 DAC, baseando-se na divisão do crescimento total no período pelo número de dias do período. O menor incremento em altura foi da hora 1, com 103 cm, enquanto o maior, da hora 5, com 120 cm. Aos 183 DAC, os valores ficaram próximos, com exceção da hora 1, que teve 14 cm a menos que a hora 5, a maior altura (Tabela 18). O crescimento da cultura foi menos intenso durante os 191 dias entre os 183 e 374 DAC, em média 0,46 cm por dia. Os maiores incrementos em altura ocorreram nas horas 1 e 2, com 100 e 97 cm, respectivamente. Aos 374 DAC, as horas 2 e 3 tiveram a maior e a menor altura final, respectivamente, com 20 cm de diferença.

Tabela 18. Medianas da altura das plantas (m) em quatro épocas de avaliação após a colheita na área 2.

Horas	121 dias	183 dias	374 dias
1	0,56	1,59 c	2,59 ab
2	0,58	1,71 a	2,68 a
3	0,55	1,72 ab	2,48 c
4	0,58	1,66 bc	2,53 bc
5	0,53	1,73 ab	2,56 bc
	P = 0,320	P = 0,01	P = 0,006

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Friedman a 1%.

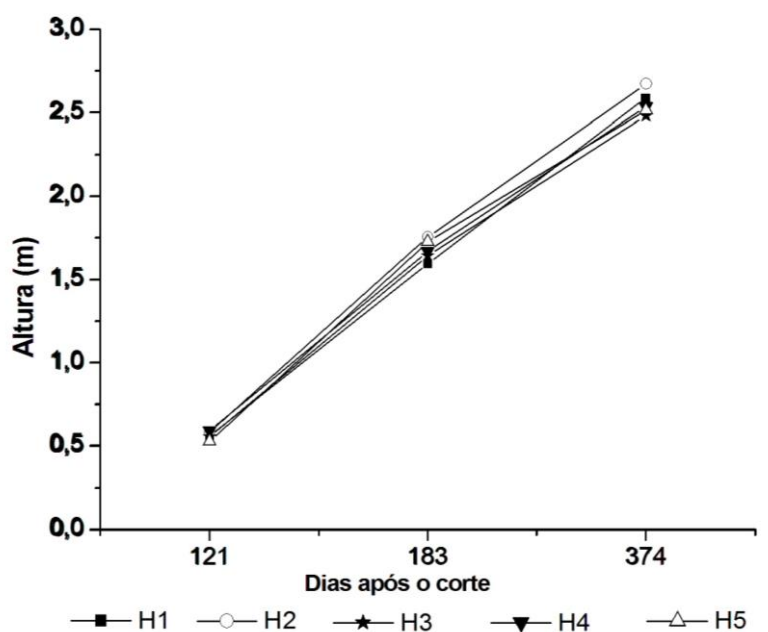


Figura 27. Médias da altura das plantas, em três épocas de avaliação, após a colheita na área 2.

Esses dados mostram que o efeito do desgaste do corte de base não foi tão intenso; contudo nota-se uma tendência de menores valores nas horas de maior desgaste das facas, além de menores incrementos em altura, entre os 183 e 374 DAC, nessas horas de trabalho (Tabela 18).

6.2.2.5. Produtividade

Como efeito do desgaste das facas do corte de base, verificaram-se diferenças significativas na produtividade da cultura, entre as horas de trabalho da colhedora (Tabela 19). A hora 2 diferenciou-se das horas 3, 4 e 5, enquanto que a hora 1 diferiu somente da hora 4. De fato, a diferença entre a hora 2 e a hora 4, maior e menor valor, respectivamente, foi de quase 22 t ha⁻¹. Nessa direção, os valores auferidos agrupam-se em dois conjuntos: o de maior produtividade, formado pelas horas 1 e 2, e o de menor produtividade, formado pelas horas 3, 4 e 5 (Tabela 19).

Apesar de estatisticamente iguais, em valores absolutos a hora 1 foi menor que a hora 2. Isso se deve ao formato reto da faca nova na hora 1 cortar a cana por impacto, gerando forças maiores e envolvendo todas as fibras ao mesmo tempo no processo de corte (MELLO; HARRIS, 2003). Essa condição causa mais danos, contribuindo para menor produtividade (Tabela 19).

A partir da hora 2, o desgaste das facas tornou-as arredondadas, formando um ângulo que permite o corte por deslizamento. Esse tipo de corte envolve menor força, poucas fibras estão envolvidas no processo ao mesmo tempo. Enquanto se mantém afiada, a faca corta por deslizamento, com as fibras da cana aderindo a lâmina (MELLO; HARRIS, 2003), gerando menos danos e maior produtividade, conforme ocorreu na hora 2 (Tabela 19).

Nas horas 3, 4 e 5, houve perda do fio das facas devido ao desgaste, reduzindo a capacidade de corte. Nessa condição, devido ao formato arredondado da faca, a cana desliza, ao invés de ser cortada, sendo empurrada para o lado (KROES; HARRIS, 1994), o que causa maiores danos e menores produtividades (Tabela 19).

Comparando os dados de produtividade (Tabela 19) a outras variáveis, observa-se sua semelhança com os resultados de altura das plantas (Tabela 18). Esta constitui, na verdade, componente importante da produtividade, exercendo grande

influência sobre o rendimento da cultura (LANDELL; SILVA, 2004). Já o maior número final de perfilhos não se refletiu em maior produtividade em A2, se comparada a A1.

Tabela 19. Medianas da produtividade final de colmos na área 2.

Horas	Produtividade (t ha ⁻¹)
1	113,59 ab
2	120,71 a
3	102,80 bc
4	98,08 c
5	107,88 bc
P = 0,038	

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Friedman a 5%.

Na figura 27, nota-se que houve oscilação no desgaste das facas do corte de base e na produtividade da cultura ao longo das horas de trabalho da colhedora. Percebe-se clara relação inversa entre as duas variáveis, em que, quando o desgaste das facas aumenta, a produtividade diminui. Essa relação confirma a influência do desgaste das facas do corte de base na produtividade final de colmos.

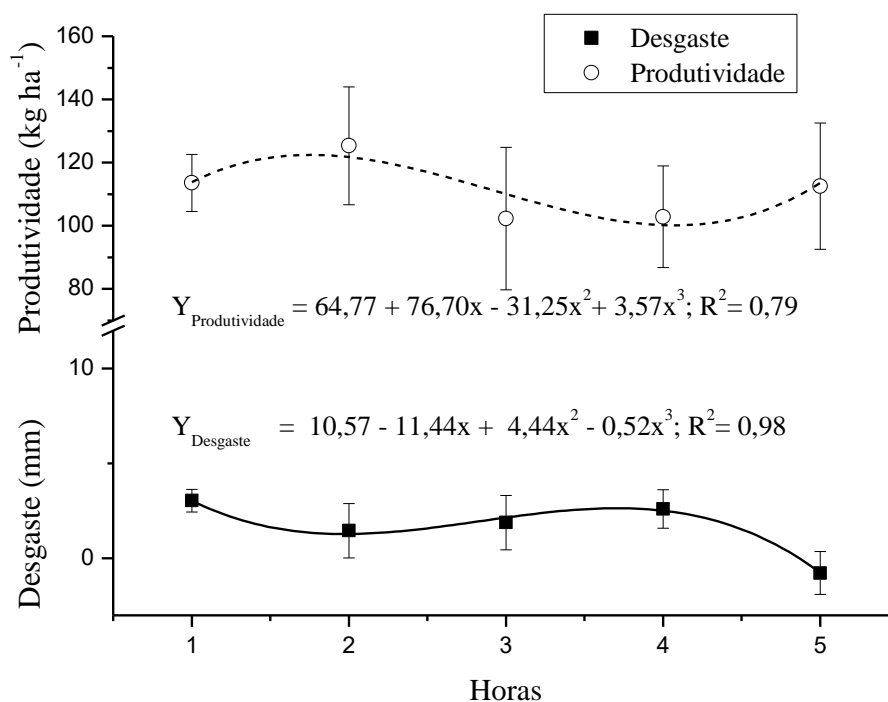


Figura 28. Regressão cúbica da produtividade final de colmos e do desgaste das facas do corte de base na área 2.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O corte de base da colheita mecanizada de cana-de-açúcar causou danos às soqueiras. Contudo, o aumento do desgaste das facas do corte de base, ao longo das horas de trabalho da colhedora, não intensificou esses danos, tendo determinado somente a redução na qualidade do corte. Esse fato causou o menor perfilhamento em A1, a menor altura final das plantas e a menor produtividade final.

Mesmo a A1 tendo 48 dias a menos no ciclo do que A2, e passando por condições climáticas mais restritivas no primeiro mês após o corte, teve média de produtividade maior. Isso pode ter sido causado por diferenças no manejo da cultura realizado pelas empresas e pelo maior potencial de produção no espaçamento duplo alternado.

8. CONCLUSÕES

Houve dano na soqueira, causado pelo corte de base da colheita mecanizada.

O desgaste das facas do corte de base piorou a qualidade do corte e aumentou a porcentagem de falhas após o corte, mas não houve aumento na incidência das falhas.

O número de tocos, após a passagem da colhedora, diminuiu em relação ao de colmos existentes antes da colheita, porém, desgaste das facas do corte de base não aumentou a quantidade de tocos arrancados.

Não houve aumento das perdas totais, das perdas por tocos, nem do abalo do toco, devido ao desgaste das facas do corte de base.

Os danos causados pelo desgaste das facas do corte de base não influenciaram a porcentagem, nem o tamanho das falhas ao longo do crescimento da cultura.

Diminuiu o número de perfilhos em A1, porém não em A2, durante o ciclo da cultura, devido aos danos causados pelas facas do corte de base.

Houve redução da altura das plantas assim como da produtividade da cultura pelo desgaste das facas do corte de base.

9. REFERÊNCIAS

BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J. Sistematização de área para colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Coplana**, Guariba, n. 53, p. 23-25, 2008.

BENEDINI, M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G. **Perdas de cana e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada**. Boletim. 2009. 7p. Disponível em: <http://www.coplana.com/gxpsites/..%5Cgxpfiles%5Cws001%5Cdesign%5CDownload%5CCirculares%5CPerdas_na_colheita_mecanizada.pdf>. Acesso em: 08 out. 2015

BRAUNBECK, O. A., MAGALHÃES, P. S. G. A contribuição da FEAGRI-UNICAMP. In: RIPOLI, T. C. C., RIPOLI, M. L. C. (Org.). **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba: 2009. v. 2, p. 194-207.

DE BEER, A. G. A review of mechanical harvesting and its effect on sugarcane quality. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 17., 1980, Manila. **Proceedings...** Philippines: The Executive Committee of the ISSCT, 1980. v.1., p. 57 – 61.

CAMPOS, L. H. F. et al. Sistemas de manejo da palhada influenciam acúmulo de biomassa e produtividade da cana-de-açúcar (var. RB855453). **Acta Scientiarum. Agronomy.**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 345-350, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asagr/v32n2/a23v32n2.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2015.

CASAGRANDE, A. A; VASCONCELOS, A. C. M. Fisiologia da parte aérea. In: DUNARDO-MIRANDA, L. L. VASCONCELOS, A. C. M. LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC. 2010. p. 57 – 78.

CASAGRANDE, A. A. Informações da literatura sobre espaçamentos na cultura da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 2000, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: IDEA, 2000. p. 48-54.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

CASSIA, M. T. et al. Desgaste das facas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 987-993, 2014.

Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v44n6/a17414cr2013-1129.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Safra 2014/15 - Quarto Levantamento**. v. 1, n. 4. Brasília. p. 34, abr. 2015.

COSENZA, K. M. et al. Influência da colheita mecanizada na brotação da cana-de-açúcar, bisada. **STAB Açúcar e Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 28, n. 5, p. 50-52. 2010.

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

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA - CTC. **Variedades CTC**. CTC: Piracicaba. 36p. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/variedades2013WEB3.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2015.

DURAFACE. **Faca base cod. PI20009**. Araras. 2016. Disponível em: <http://www.duraface.com.br/produtos#facas>. Acesso em: 14 dez. 2015

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. Plantio Nivelado. **STAB Açúcar e Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, n. 2. 2000.

GARSON, C. A. Control of harvester basecutter height. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Mackay, n. 14, p. 156-162, 1992.

GRAZIANO, J. R. Espaçamento reduzido de planta de cana na usina Palmeira S.A. **STAB Açúcar e Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 7, n. 1, p. 28 - 32. 1988.

KROES, S. **The cutting of sugarcane**. 1997. 356 p. Thesis (Doctor of Philosophy)-University of Southern Queensland, Toowoomb, 1997.

KROES, S.; HARRIS, H. D. Effects of cane harvester basecutter parameters on the quality of cut. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Townsville, n. 16. p. 169-177, 1994.

LANDELL, M.G.A.; SILVA, M.A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v.1, p.18-23, 2004.

LEME FILHO, J. R. A. **Desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob diferentes formas de colheita e de manejo de palhico**. 2009. 111 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK O. A. Colheita de Cana-de-Açúcar: Atualidade e Perspectiva. In: CONGRESSO DE INGENIERÍA RURAL Y MECANIZACIÓN AGRARIA EN EL AMBITO LATINOAMERICANO, 1998, La Plata. **Anais...** p. 262-271.

MELLO, R. C. **Utilização de lâminas serrilhadas no corte basal da cana-de-açúcar.** 2011. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2011.

MELLO, R. C. Influência do formato e velocidade da lâmina nas forças de corte para cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum.** Maringá. v. 27, n. 4, p. 661-665, 2005. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/1685>. Acesso em: 14 dez. 2015.

MELLO, R. C.; HARRIS, H. Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 355-358, 2003. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n2/v7n2a29.pdf> >. Acesso em: 14 dez. 2015.

MELLO, R. C.; HARRIS, H. Angled and serrated blades reduce damage, force and energy for a harvester basecutter. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Mackay, n. 123. p. 212-218, 2001.

NEVES, M. F; TROMBIN, V. G. **A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/14.** Ribeirão Preto: Marcos Fava Neves, 2014. 46p.

NEVES, J. L. M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução.** 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

OLIVEIRA, J. B. et al. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo.** Campinas: Embrapa, 1999. 1 mapa. Escala 1: 500 000.

PRADO, A. P. A. **Perfilhamento e produção da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em função da densidade de plantio**. 1988. 69 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO - RIDESA. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Ridesa: Curitiba, 2010. 136p. Disponível em: <www.canaufv.com.br/catalogo/catalogo-2010.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2015.

REIS, G. N. Qualidade do corte basal na colheita mecanizada da cana-de-açúcar e dois tipos de manejo de solo. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.6, n.2, p.143-153, 2015.

Disponível em:

<<https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/784/313>>. Acesso em: 14 dez. 2015.

RIDGE, D. R. Minimizing the problem of soil in chopper harvesting cane. **Proceeding of the International Society of Sugarcane Technologists**, Bangkok, v. 16, p. 315-323, 1992.

RIPOLI, T. C. C. et al. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: [s. n.], Edição dos autores. 2007. 198 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. 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. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de sistemas agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

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

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

SALVI, J.V. et al. Avaliação do desempenho de dispositivo de cortes de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p. 201-209, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n1/14.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

SILVA, M. A. et al. Perfilamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 979-986, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n8/v43n8a05.pdf> >. Acesso em: 16 dez. 2015.

SILVA NETO, H. F. Qualidade da cana de açúcar influenciada por impurezas vegetais. **STAB Açúcar e Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 32, n. 2, p. 30-35. 2013.

STOLF, R., IAIA, A.M., LEE, T.S.G. Índice de falhas segundo o método de STOLF: correlação com o rendimento agrícola em soqueiras de cana-de-açúcar. **Álcool e Açúcar**, São Paulo, v.11, n.58, p.12-16. 1991.

STOLF, R.; IAIA, A. M.; LEE, T. S. G. Índice de falhas segundo o método de STOLF: correlação com o rendimento agrícola em cana-planta. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 104, n. 5/6, p. 44-50, 1986.

STUPIELLO, J. P.; FERNANDES, A. C. Qualidade da matéria-prima provenientes das colhedoras e seus efeitos na fabricação de álcool e açúcar. **STAB Açúcar e Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 45-49. 1984.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **A bioeletricidade da cana em números.** São Paulo, 2016. Disponível em: <www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=6703271>. Acesso em: 15 fev. 2016.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético Paulista: Fechamento da safra 2014/2015 – Dados preliminares.** São Paulo, 2015. Disponível em: <www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=29079797>. Acesso em: 15 fev. 2016.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Protocolo agroambiental do setor sucroenergético paulista: dados consolidados das safras 2007/08 a 2013/14.** São Paulo, 2014. Disponível em: <[unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=28826518](http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=28826518)>. Acesso em: 15 fev. 2016.

VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual.** 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Londrina: SBCPD, 2000. p. 148-165.

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

VOLTARELLI, M. A. et al. Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar utilizando-se de três modelos de facas. **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 528-541. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v35n3/1809-4430-eagri-35-3-0528.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2015