

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

QUALIDADE DO CORTE BASAL NA COLHEITA
MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR CRUA

Anderson de Toledo

Engenheiro Agrícola

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2012

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

QUALIDADE DO CORTE BASAL NA COLHEITA
MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR CRUA

Anderson de Toledo

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani

Co-orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Janeiro de 2012

Toledo, Anderson de
T649q Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-
açúcar crua. / Anderson de Toledo. – – Jaboticabal, 2012
xiv, 90 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012
Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani
Banca examinadora: Ricardo Ralisch, Gustavo Naves dos Reis,
Élcio Hiroyoshi Yano, Miguel Angelo Mutton, Rouverson Pereira da
Silva

Bibliografia

1. Altura de corte. 2. Colhedora. 3. Dispositivo de redução de
impacto. 4. Facas do corte basal. 5. Índice de danos. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.35:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANDERSON DE TOLEDO – nasceu em Cascavel, Paraná, aos 26 dias do mês de setembro de 1983. Primogênito de Parailio de Toledo e Marli Therezinha Vieira de Toledo, cresceu e morou na cidade em que nasceu, no oeste paranaense. Coursou o Ensino Fundamental nos Colégios Ideal e Estadual Washington Luiz. Em dezembro de 2000 concluiu o Ensino Médio no Colégio Estadual Wilson Joffre. Em março de 2001 iniciou o curso de Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel, concluindo-o em dezembro de 2005, formando a XXIII Turma de Engenharia Agrícola, recebendo o grau de Engenheiro Agrícola em 16 de fevereiro de 2006. Durante a graduação participou de programas de Iniciação Científica, desenvolvendo trabalhos e participando de congressos e projetos na área de Máquinas e Mecanização Agrícola. Em agosto de 2006 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal, concentrando os estudos e pesquisas na área de Mecanização Agrícola no Departamento de Engenharia Rural, obtendo o título de Mestre em Agronomia em fevereiro de 2008. Neste mesmo ano foi aprovado e iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) na mesma unidade universitária. Em 2010 foi aprovado em Concurso Público para o cargo de Pesquisador Científico do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, assumindo as atividades na Área de Engenharia Agrícola em agosto de 2010 no município de Santa Tereza do Oeste, sendo transferido para o município de Londrina em junho de 2011, e exercendo atualmente a função de Coordenador da Área. Em janeiro de 2012 submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

*Aquilo que tem muito valor entre os homens
é detestável aos olhos de Deus.*

Lucas, 16:15

Ao único que é digno de receber louvor,
Criador, Senhor e Salvador da minha vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) e seus professores e colaboradores.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Aos amigos e orientadores Carlos Eduardo Angeli Furlani e Rouverson Pereira da Silva.

Ao Departamento de Engenharia Rural e seus funcionários.

Ao Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) e seus estagiários, colegas e agregados que colaboraram brilhantemente na execução das avaliações.

À Bussola Ferramentas Agrícolas e à IBP/Agricorte pelo suporte à execução do projeto.

À Fazenda Santa Izabel, representada pelo Alysson Guilherme Strack e pelo José Roberto pela parceria na realização do trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Ricardo Ralisch, Gustavo Naves dos Reis, Élcio Hiroyoshi Yano e Miguel Angelo Mutton pelas excelentes contribuições.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e aos seus servidores, meus novos colegas e amigos.

À minha família, pelo amor constante e presente.

À minha querida e amada esposa, Michelle Barbeiro da Cruz Toledo e ao nosso filho(a) que virá.

Aos amigos de Jaboticabal, vocês marcaram nossa história.

Aos novos amigos de Londrina que nos ampararam de maneira tão singular.

A todos expresso meus sinceros agradecimentos, pela colaboração que cada um representou na minha formação como aluno, colega, amigo e ser humano.

Deus os abençoe.

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	xiii
SUMMARY	xiv
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
Cana-de-açúcar no cenário econômico.....	3
Sistemas de colheita de cana-de-açúcar	7
Queima pré-colheita do canavial.....	9
Colhedoras de cana-de-açúcar	11
Avaliações em colheita mecanizada	13
Controle Estatístico de Qualidade	15
Qualidade na colheita mecanizada	17
Mecanismo de corte basal	19
Projetos para colheita de cana-de-açúcar	21
REFERÊNCIAS.....	26
CAPÍTULO 2 – FACAS DO CORTE BASAL E QUALIDADE OPERACIONAL DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR CRUA.....	32
RESUMO.....	32
INTRODUÇÃO	33
MATERIAL E MÉTODOS	35
Delineamento experimental.....	35
Caracterização do canavial	36
Mecanismos do corte basal avaliados.....	37
Indicadores de qualidade	38
Altura de corte.....	39

Índice de danos	39
Controle Estatístico de Processos.....	40
Cartas de controle	41
Análise de capacidade	41
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
Porte do canavial.....	43
Altura de corte e diâmetro dos colmos	44
Índice de danos	47
CONCLUSÕES	50
IMPLICAÇÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	50
CAPÍTULO 3 – CORTE BASAL EM COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE- AÇÚCAR COM FACAS REVESTIDAS POR CARBETO DE TUNGSTÊNIO	52
RESUMO.....	52
INTRODUÇÃO	53
MATERIAL E MÉTODOS	55
Delineamento experimental.....	55
Caracterização do canavial	57
Indicadores de qualidade	57
Altura de corte.....	57
Índice de danos	57
Desgaste das facas.....	59
Massa das facas	59
Espessura da face cortante.....	59
Controle Estatístico de Processos.....	60
Run charts (gráfico de sequências).....	60
Cartas de controle	60
Diagrama de causa e efeito	60
Análise de capacidade	61
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
Porte do canavial.....	62

Altura de corte	62
Índice de danos	65
Desgaste	69
Propostas para melhoria do processo	71
CONCLUSÕES	73
IMPLICAÇÕES	73
REFERÊNCIAS	73
 CAPÍTULO 4 – MODELO DE DISPOSITIVO PARA REDUÇÃO DO IMPACTO NO CORTE BASAL PARA COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR	 76
RESUMO	76
CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS	77
DESENVOLVIMENTO DO MODELO	82
Considerações preliminares	82
PROPOSTA DO MODELO	83
Descrição geral	83
Descrição dos componentes	84
Ação do dispositivo	87
CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
IMPLICAÇÕES	89
REFERÊNCIAS	89

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Comparação dos sistemas de colheita utilizados no Brasil.	8
Tabela 2. Conjuntos de discos e facas testados (safra 2008/2009).	37
Tabela 3. Características das facas do mecanismo de corte basal lisa, serrilhada e de troca rápida avaliadas no experimento.	38
Tabela 4. Características dos discos do mecanismo de corte basal, convencional, inclinado e de troca rápida avaliados no experimento.	38
Tabela 5. Classificação dos danos causados aos colmos após a colheita mecanizada.	40
Tabela 6. Limites especificados para os indicadores de qualidade.	42
Tabela 7. Matriz de correlação para altura de corte, porte do canavial e índice de danos.	43
Tabela 8. Altura de corte e diâmetro médios dos colmos nos tratamentos avaliados. ...	44
Tabela 9. Análise de capacidade do processo para altura de corte.	47
Tabela 10. Porcentagem média dos danos causados às soqueiras.	48
Tabela 11. Características do local do experimento.	56
Tabela 12. Classificação dos danos causados aos colmos após a colheita mecanizada.	58
Tabela 13. Limites especificados para os indicadores de qualidade.	61
Tabela 14. Parâmetros da <i>Run Chart</i> para altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.	64
Tabela 15. Parâmetros da <i>Run Chart</i> para índice de danos na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.	66
Tabela 16. Análise de Capacidade do processo para índice de danos.	69
Tabela 17. Partes constituintes do dispositivo.	86

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Área plantada, produtividade e produção de cana-de-açúcar no Brasil.	4
Figura 2. Participação das lavouras substituídas pela expansão das áreas de cultivo da cana-de-açúcar no Brasil na safra 2008/2009.	6
Figura 3. Áreas produtivas de cana-de-açúcar no Brasil.	7
Figura 4. Colhedora autopropelida de cana-de-açúcar picada e principais mecanismos.	12
Figura 5. Modo de operação do mecanismo de corte basal de colhedoras de cana- de-açúcar para melhoria da qualidade da matéria-prima.	20
Figura 6. Modo de operação do mecanismo de corte basal de colhedoras de cana- de-açúcar para redução de perdas.	20
Figura 7. Vista lateral do mecanismo proposto por PINTO e DANIEL (2005).	23
Figura 8. Diferentes dispositivos propostos para o mecanismo de corte basal por MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (2007a).	24
Figura 9. Mecanismo de corte basal proposto por MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (2007b).	25
Figura 10. Informações climáticas para Jaboticabal - SP no período do experimento. ...	36
Figura 11. Porte do canavial nos tratamentos avaliados.	44
Figura 12. Carta de controle para a altura de corte nos tratamentos avaliados.	45
Figura 13. Análise de capacidade para a altura de corte nos tratamentos sob controle.	46
Figura 14. Carta de controle para o índice de danos às soqueiras nos tratamentos avaliados.	48
Figura 15. Análise de capacidade para o índice de danos às soqueiras nos tratamentos sob controle.	49
Figura 16. Faca com revestimento de carbeto de tungstênio (vista superior e inferior).	55
Figura 17. Informações climáticas para Jaboticabal - SP no período do experimento. ...	56
Figura 18. Esquema de medição da espessura da borda cortante das facas.	59

Figura 19. Porte do canavial nas áreas avaliadas conforme a variedade de cana-de-açúcar.	62
Figura 20. <i>Run Chart</i> para altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.	63
Figura 21. Carta de controle para altura de corte em função do tempo de utilização efetiva das facas.	65
Figura 22. <i>Run Chart</i> para índice de danos na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.	66
Figura 23. Carta de controle para índice de danos às soqueiras em função do tempo de utilização efetiva das facas.....	67
Figura 24. Carta de controle para índice de danos às soqueiras em função do tempo de utilização efetiva das facas, após exclusão dos pontos fora de controle. .	68
Figura 25. Análise de capacidade para o índice de danos, após exclusão dos pontos fora de controle.	69
Figura 26. Massa das facas com revestimento de carbeto de tungstênio em função do tempo efetivo de utilização.	70
Figura 27. Espessura da face cortante das facas com revestimento de carbeto de tungstênio em função do tempo efetivo de utilização.	71
Figura 28. Diagrama de causa e efeito para investigação dos pontos de melhorias no processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.	72
Figura 29. Representação do dano ocasionado pelo impacto da faca ao colmo de cana-de-açúcar.	79
Figura 30. Força de ruptura (F) em função do diâmetro (c) do colmo de cana-de-açúcar.	80
Figura 31. Força de ruptura (F) durante o corte em relação à penetração da faca através do diâmetro (x) do colmo de cana-de-açúcar.	80
Figura 32. Vista geral do dispositivo.....	83
Figura 33. Vista lateral e superior do dispositivo.	84
Figura 34. Vista esquemática em corte do dispositivo.	85
Figura 35. Vista explodida do dispositivo.	85
Figura 36. Deslocamento da mola em função da força aplicada.....	87

Figura 37. Representação do acionamento do dispositivo.....	88
Figura 38. Detalhe do acionamento do dispositivo.....	88

QUALIDADE DO CORTE BASAL NA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR CRUA

RESUMO

A operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar está aumentando sua área de abrangência de forma gradativa devido a diversos fatores, como a busca mundial por novas fontes renováveis de energia e utilização de biocombustíveis, associada ao aumento de produtividade e à imposição de leis de proteção ambiental contra a queima pré-colheita dos canaviais. Porém, a evolução tecnológica das colhedoras mecanizadas ainda não atingiu nível satisfatório, mantendo inalterado seu princípio de ação, sendo o corte basal altamente influente na qualidade da matéria-prima colhida, representando em alguns casos mais de 10% das perdas pelo corte ineficiente. Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a qualidade do corte basal e propor um dispositivo que auxilie o corte e minimize os danos causados aos colmos e às soqueiras, a fim de aumentar a qualidade da matéria-prima e reduzir os custos envolvidos no processo. Os resultados das avaliações da qualidade da operação de colheita mecanizada permitiram inferir que a qualidade do corte é influenciada pelas facas do corte basal em detrimento ao tipo de dispositivo utilizado. O nível de qualidade da colheita averiguado durante a primeira fase do projeto foi considerado abaixo do ideal, não atendendo às especificações estabelecidas. O dispositivo proposto proporciona o corte por deslizamento dos colmos de cana-de-açúcar, com o intuito de reduzir os danos causados pelo impacto no corte basal em colheita mecanizada. Por ser considerado de simples execução, pode ser aplicado em qualquer colhedora e utilizado qualquer tipo de faca do corte basal. Entretanto, em virtude de limitações do projeto, identifica-se a necessidade de realizar a simulação e construção do protótipo para verificar a demanda de energia durante o corte com a aplicação do dispositivo.

PALAVRAS-CHAVE: Altura de corte, colhedora, dispositivo de redução de impacto, facas do corte basal, índice de danos.

QUALITY EVALUATION OF BASE CUT IN MECHANIZED HARVEST OF GREEN SUGARCANE

SUMMARY

The mechanical harvesting of sugarcane is increasing its coverage area gradually due to several factors, such as the worldwide search for new renewable energy and biofuels, combined with the productivity growth and the imposition of environmental protection laws against pre-harvest burning of cane fields. However, the technological evolution of mechanized harvesters has not yet reached a satisfactory level, keeping unchanged its principle of action, and the base cut influences the quality of the raw materials harvested, representing in some cases more than 10% of the losses by inefficient cut. Therefore, the general objective of this study was to evaluate the quality of the base cut and propose a device to assist the cutting and minimize the damage to stalks and stumps in order to increase the quality of raw materials and reduce the costs involved. The results of quality evaluations for the mechanized harvest allowed saying that the cutting quality is influenced by the cutting blades over the type of device used. The quality of the harvest examined during the first phase of the project was considered suboptimal, not meeting the specifications established. The proposed device provides the cut by sliding the stalks of cane sugar, in order to reduce the impact damage from the base cutter in mechanical harvesting. By its project considered simple to implement, can be applied in any harvester and use any type of cutting blades. However, due to limitations of the project, was identified the necessity to perform the simulation and prototype construction to verify the energy demand while cutting with the device application.

KEYWORDS: Cutting height, harvester, impact reduction device, base cutter blades, damage index.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

INTRODUÇÃO

O projeto foi dividido em duas fases de execução, sendo a primeira a avaliação do nível de qualidade operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar e a identificação das especificações para a elaboração do dispositivo, que constitui a segunda fase do projeto.

Inicialmente realizaram-se avaliações da qualidade do corte basal em colheita mecanizada de cana-de-açúcar em áreas de produção comercial, localizada na região de Jaboticabal, São Paulo, a fim de gerar informações que serviram como base para a definição do problema e elaboração do modelo do dispositivo.

A justificativa de realizar avaliações em áreas comerciais está pautada na disponibilidade da colhedora automotriz de cana-de-açúcar, que dificilmente está acessível à pesquisa acadêmica nos seus moldes tradicionais (delineamentos estatísticos bem definidos) e no acesso a grandes áreas de produção de cana-de-açúcar, para avaliação destas máquinas. Para suprir estas necessidades, estabeleceu-se uma parceria com a Fazenda Santa Izabel, em que as avaliações foram realizadas com certas restrições, para não interferir na programação de colheita da fazenda.

Com relação à apresentação da tese, no primeiro capítulo é abordada a situação econômica da cultura e o estado da arte da pesquisa em colheita mecanizada de cana-de-açúcar. No segundo e terceiro capítulos são apresentados resultados de avaliação da qualidade da colheita mecanizada, que forneceram informações para a elaboração do quarto capítulo, que consiste no modelo do dispositivo para redução do impacto no corte basal.

OBJETIVOS

1. Realizar o levantamento da qualidade do corte com os mecanismos disponíveis;
2. Avaliar a qualidade do corte utilizando como indicadores a altura de corte e os danos ocasionados às soqueiras de cana-de-açúcar;
3. Propor dispositivo que auxilie na melhoria da qualidade do corte.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cana-de-açúcar no cenário econômico

Conforme estudo realizado por NEVES et al. (2009) o sistema agroindustrial sucroenergético representou movimentação de aproximadamente US\$ 87 bilhões no ano de 2008. Estima-se que o Produto Interno Bruto (PIB) do setor sucroenergético seja de mais de 28 bilhões de dólares, que representa 1,5% do PIB nacional. De acordo com os autores, a cadeia sucroenergética mostrou ao mundo o potencial de ser sustentável, contribuindo para que o Brasil possua uma das matrizes energéticas mais limpas. Estimaram que em 2015, 80% dos automóveis leves em circulação no País serão movidos a etanol, e ainda, que atingiria 60% da exportação mundial de açúcar.

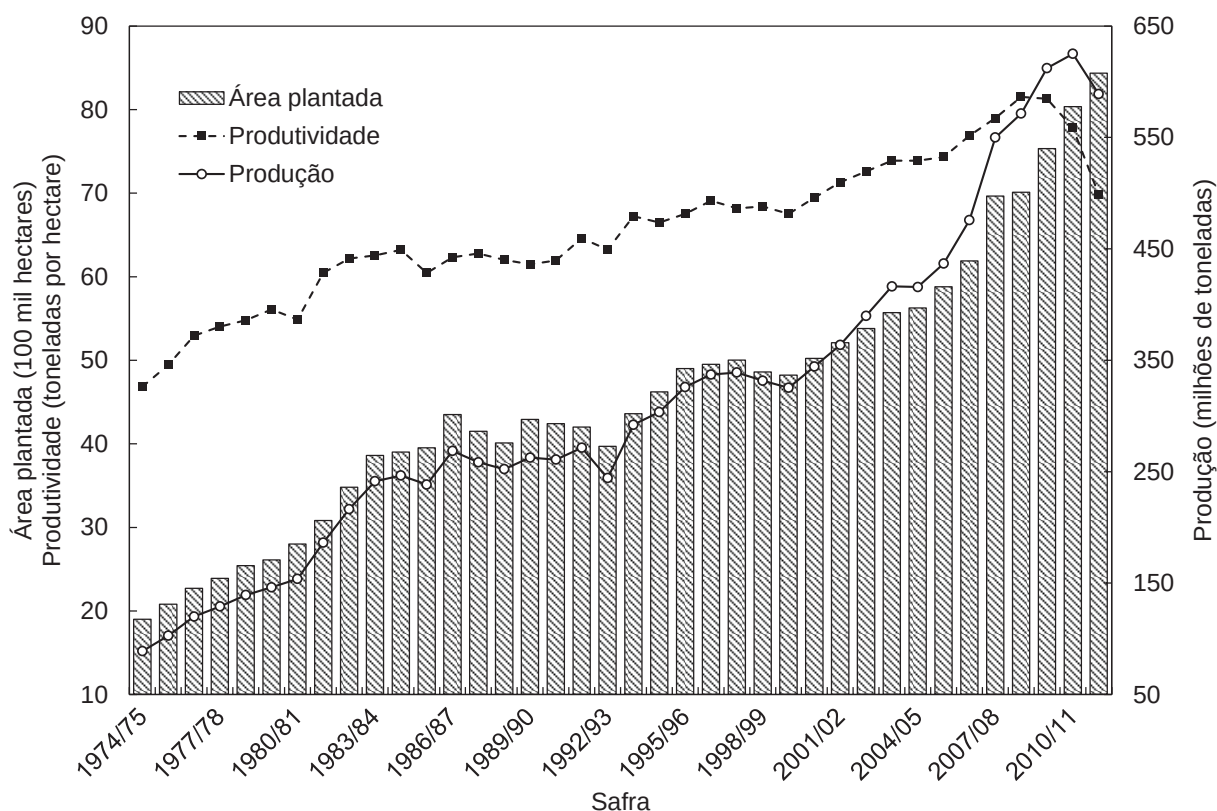
Todavia, a produção de açúcar e etanol no Brasil passa por período de oscilações devido a especulações no mercado financeiro mundial, crise em países europeus, entre outros fatores, gerando temores e preocupações, levando a um cenário de incertezas.

Agravadas pela condição climática desfavorável no ano de 2010 no Estado de São Paulo – estiagem entre abril e outubro e excesso de chuva no verão – e também em 2011, com chuva concentrada no início da safra, e ainda pela idade dos canaviais, a maioria com mais de três anos desde a implantação – devido à falta de investimentos proporcionada pela crise mundial de 2008 – a produção e, por conseguinte, a produtividade da cana-de-açúcar na safra 2011/2012 serão inferiores aos últimos anos (GLOBO RURAL, 2011; RAC, 2011).

Apesar das reduções nos preços e na produtividade, a área plantada no Brasil só aumentou desde a safra 2000/2001 e ultrapassa os oito milhões de hectares, com produção próxima a 600 milhões de toneladas, conforme estimativa do 2º Levantamento do Acompanhamento da Safra 2011/2012 realizado pela COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2011b), com dados apresentados no gráfico da Figura 1. Estes números colocam o Brasil em posição de destaque, como um dos maiores produtores de cana-de-açúcar. Ainda com base neste levantamento, a previsão é de que a lavoura de cana-de-açúcar esteja em expansão no Brasil. As áreas de

produção tiveram aumento constante, desde a safra 2004/05, como pode ser visualizada Figura 1.

Conforme a Figura 1, a produtividade estimada para a safra 2011/2012 será abaixo de 70 toneladas por hectare – quase 20% abaixo da média histórica, de 85 t ha⁻¹ – em função da idade dos canaviais e das adversidades climáticas dos últimos anos, que afetaram significativamente os canaviais, principalmente no Estado de São Paulo. Estes números para a safra 2011/2012 só não serão menores porque a área ocupada com cana-de-açúcar não seguiu o mesmo caminho, esperando se atingir 8,5 milhões de hectares plantados.



Fonte: Dados de 1975 a 2004: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2007); Dados de 2005 a 2012*: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2011a). *estimativa.

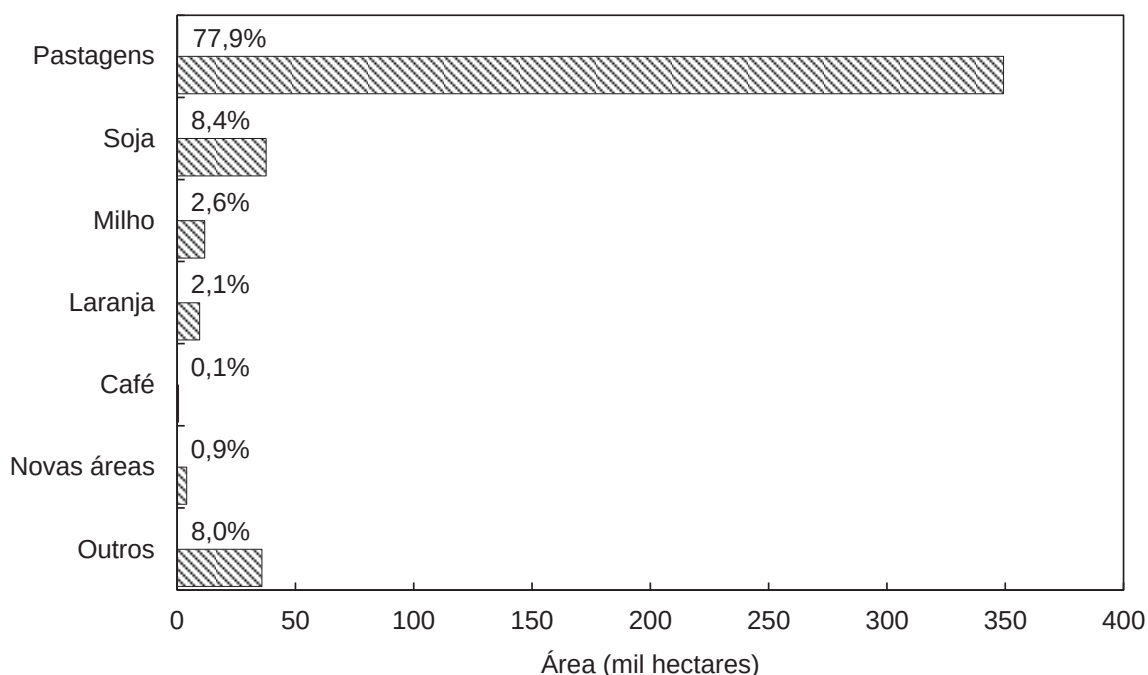
Figura 1. Área plantada, produtividade e produção de cana-de-açúcar no Brasil.

Em relação à qualidade da matéria-prima, medida pelos níveis de açúcares presentes na cana-de-açúcar – o valor do ATR (Açúcares Totais Recuperáveis) – para a safra 2011/2012, com base na projeção da UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (2011), será de 67,07 milhões de toneladas, que representa 137,30 quilogramas de ATR por tonelada de cana-de-açúcar, redução de 2,3% comparando-se à safra anterior. A primeira estimativa divulgada em agosto de 2011 era de perda de 3,8%.

Conforme cita MORAES (2007), com base em estudos sobre a área agrícola explorada e passível de exploração pela cultura canavieira pode ser expandida em trinta vezes, sem afetar áreas de preservação ambiental e de produção agropecuária existente. Obviamente não se faz necessário tal expansão, mas este estudo destaca o potencial do setor sucroalcooleiro e o potencial agricultável do Brasil.

Mesmo assim, as áreas de expansão da cana-de-açúcar não têm ocupado o espaço de outras culturas. Esta afirmação é corroborada quando analisados os dados fornecidos pela COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2010) a respeito das áreas de expansão da cultura na safra 2008/2009, representados na Figura 2.

Predominantemente, áreas de pastagens foram cedidas ao cultivo da cana-de-açúcar. Se considerado que a área estimada de pastagens no Brasil estava próxima a 170 milhões de hectares, de acordo com o Censo Agropecuário 2006 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006), esta substituição de pastagens por cana-de-açúcar – quase 350 mil hectares – representa apenas 0,2% desse total. Para soja e milho, são 9,1% e 2,8%, respectivamente. Portanto, a taxa de crescimento das áreas de cana-de-açúcar não demonstra ser suficiente para afetar o panorama pecuário e agrícola do País.

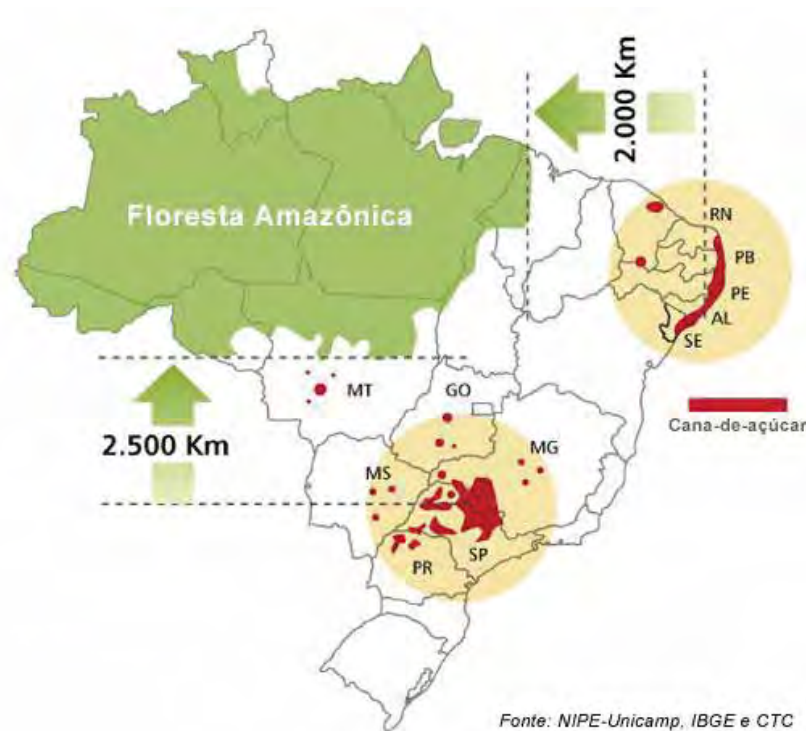


Fonte: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2010).

Figura 2. Participação das lavouras substituídas pela expansão das áreas de cultivo da cana-de-açúcar no Brasil na safra 2008/2009.

Conforme informações da UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (2008), a produção de cana-de-açúcar se concentra nas regiões Centro-Sul e Nordeste (Figura 3), sendo que a primeira é responsável por 87% da produção nacional. O mapa mostra em destaque as áreas onde se concentram as plantações e usinas produtoras de açúcar, etanol e bioeletricidade, em que as áreas mais expressivas estão distantes aproximadamente 2000 quilômetros da floresta amazônica.

A cadeia produtiva da cana-de-açúcar é representada por mais de 350 unidades industriais envolvendo mais de 11000 produtores independentes. Além da geração desses empregos diretos na atividade agrícola, há a movimentação dos setores de insumos, indústria de máquinas e equipamentos, subprodutos e derivados, somente como alguns exemplos. Todo esse crescimento está baseado na disponibilidade de recursos financeiros internos e externos, recursos humanos, tecnológicos e principalmente territoriais (NEVES; CONEJERO, 2007).



Fonte: UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (2008).

Figura 3. Áreas produtivas de cana-de-açúcar no Brasil.

Quanto aos empregos formais, foram contabilizados 1,28 milhões de postos de trabalho em 2008, destes, 38% no cultivo de cana-de-açúcar e 62% na produção de açúcar e etanol, estimando-se 738 milhões de dólares em salários (NEVES et al., 2009).

Sistemas de colheita de cana-de-açúcar

A colheita de cana-de-açúcar em larga escala realizada no Brasil é praticamente feita em dois sistemas: semimecanizado e mecanizado. No primeiro o corte é manual e as demais operações mecanizadas, enquanto no segundo, todos os processos são feitos por máquinas. Para viabilizar o corte manual, faz-se necessário a queima prévia do canavial, que tem sido amplamente combatido por diversas organizações devido ao seu grande impacto ambiental.

BRAUNBECK et al. (1999) realizaram um comparativo entre os sistemas de colheita empregados nos canaviais brasileiros, apresentando suas restrições e vantagens. Na Tabela 1 pode ser visualizado um resumo deste comparativo.

Tabela 1. Comparação dos sistemas de colheita utilizados no Brasil.

Parâmetros	Tipo de colheita		
	Semimecanizada	Mecanizada (picada)	Mecanizada (inteira)
Descrição resumida	Corte manual e carregamento mecânico.	Corte em colmos (~30 cm) com separação de ponteira e folhas; carregamento mecânico.	Corte do colmo, separação da ponteira e enleiramento mecânico.
Capacidade de colheita	Corte: 4-7 t homem ⁻¹ dia ⁻¹	400 t máquina ⁻¹ dia ⁻¹	600 t máquina ⁻¹ dia ⁻¹
Restrições	Falta de mão-de-obra; Dificuldade de colheita sem queima prévia.	Perdas de matéria-prima; Tráfego intenso nas entrelinhas.	Perdas de matéria-prima; Tráfego intenso nas entrelinhas.
Vantagens	Menor quantidade de impurezas; Menor perda de matéria-prima; Baixo investimento em infraestrutura para manutenção de máquinas.	Redução da necessidade de mão-de-obra; Redução dos custos de colheita; Facilidade de colheita.	Baixa demanda de mão-de-obra; Independência entre operações de corte e transporte.

Fonte: Adaptado de BRAUNBECK et al. (1999).

Como descreve ORSOLINI (2002), no sistema semimecanizado, o corte manual é realizado, predominantemente, após a queima do canavial, em que operários executam o corte basal dos colmos, seguindo-se do corte apical e, por fim, a despalha. Esta operação é seguida do enleiramento dos colmos sobre o solo, posteriormente carregados mecanicamente em sistemas de transporte à unidade industrial, na maioria dos casos, feito por caminhões rodoviários. O sistema mecanizado pode ser dividido em dois subsistemas, o primeiro utilizando um tipo de máquina para realizar o corte basal e apical dos colmos e o enleiramento lateral, para posterior carregamento e transporte, realizado por outras máquinas, denominado de colheita de cana-de-açúcar inteira. O segundo, utiliza máquinas autopropelidas que cortam, picam e limpam parcialmente os

colmos, carregando-os diretamente em unidades de transporte, chamado de colheita de cana-de-açúcar picada.

As informações contidas no Perfil do Setor do Açúcar e do Alcool no Brasil com base em dados da safra 2008/2009, publicado pela COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO (2010), apontam que no Brasil a colheita semimecanizada foi realizada em 62,9% das áreas de produção, correspondendo a 4,44 milhões de hectares. Entretanto, se analisada esta participação por região, a Norte-Nordeste possui 94,7% das áreas colhidas neste sistema, enquanto que a Centro-Sul, 57,2%. Com relação à quantidade de colhedoras utilizadas, na safra 2008/2009 estavam em atividade 1912 máquinas, 66,11% delas somente no Estado de São Paulo e apenas 2,77% na região Norte-Nordeste.

Em função da dificuldade de coletar dados sobre a quantidade de trabalhadores empregados na colheita semimecanizada de cana-de-açúcar, a COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO (2010), com base na área destinada à colheita, na produtividade diária de cada trabalhador, e no período trabalhado por safra, estima em pouco mais de 297 mil postos de trabalho – 230 mil na região Centro-Sul – redução de 2,1% em relação à safra anterior.

E ainda, com base nessa estimativa, prevê que a utilização de uma colhedora é equivalente, em média, ao trabalho de 95 operários. Contudo, a expansão em área destinada à produção da cana-de-açúcar tem compensado o aumento do número de máquinas em atividade e consequente redução da colheita com corte manual, o que ameniza a redução do número de postos de trabalho, pois, as empresas estão investindo no treinamento de seus operários para a colheita mecanizada, ou ainda, destinando-os a outras atividades.

Queima pré-colheita do canavial

As questões ambientais associadas ao sistema de corte da cana-de-açúcar, se manual ou mecanizado, tem sido assunto de discussão de vários estados, conforme indica a COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2010), em função da queima

ter a finalidade de facilitar o corte, aumentando a capacidade de colheita dos cortadores em relação à colheita sem a queima prévia.

Como medida para resolver esta situação, o Governo do Estado de São Paulo promulgou a Lei nº 11.241 de 19 de fevereiro de 2002 (SÃO PAULO, 2002), que regulamenta a queima pré-colheita em canaviais do Estado, estabelecendo o término para o ano de 2021 em áreas mecanizáveis, e em 2031 para demais áreas. Mas, em protocolo de adesão voluntária, assinado entre o Governo do Estado de São Paulo e a UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (2007) estabeleceram-se novas diretrizes às indústrias de cana-de-açúcar, entre elas a antecipação dos prazos previstos nesta Lei. Assim, conforme os novos prazos, os produtores ficam comprometidos a extinguir as queimadas em áreas mecanizáveis até 2014 e áreas não mecanizáveis até 2017.

Além do impacto ambiental, a queima da palhada de cana-de-açúcar gera perdas expressivas se considerado o potencial agrônômico e energético que possui. A queima da palhada está relacionada ao solo que fica desprovido de cobertura vegetal, causando consideráveis perdas por erosão eólica e hídrica, além de reduzir o teor de água no solo por evaporação e a quantidade de micronutrientes. Em suma, a permanência e decomposição da palhada sobre o solo fornecem condições favoráveis para aumento de matéria orgânica e melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

No quesito energético, poderia ser utilizada para cogeração de energia, queimando-se a palhada juntamente com o bagaço nas caldeiras. Outro fator que deve ser ponderado é a fixação de carbono no solo, durante o processo de produção de cana-de-açúcar, em que a queima representa um decréscimo no balanço final.

E ainda, há também resistência por parte dos cortadores em trabalhar em canaviais onde não é realizada a queima em função da dificuldade operacional, favorecendo o cenário da colheita mecanizada.

Considerando tais fatos, a utilização do sistema de colheita mecanizada, sem a queima prévia do canavial, deve crescer gradualmente até englobar 100% das áreas mecanizáveis, ao menos em São Paulo. Assim, a capacidade operacional do processo

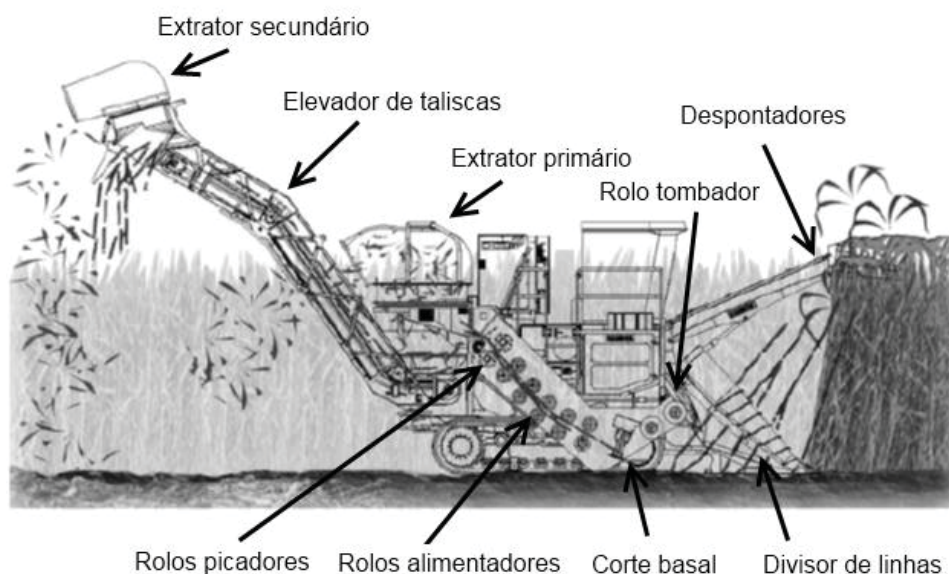
de colheita é maior quando comparada ao sistema semimecanizado, com custos operacionais reduzidos, como relataram GARCIA e SILVA (2010), proporcionando competitividade do açúcar e do álcool no mercado.

Colhedoras de cana-de-açúcar

PAGNANO (2001) citando MAGALHÃES e BRAUNBECK (1998) afirma que existem dois tipos básicos de colhedoras para cana-de-açúcar, inteira e picada, utilizadas em canaviais queimados, e alguns modelos em cana-de-açúcar crua. O Brasil importou a tecnologia de colheita de cana-de-açúcar de países como a Austrália, onde a colheita mecanizada é predominantemente picada.

As colhedoras de cana-de-açúcar picada apresentam, de forma geral, a disposição apresentada na Figura 4. Descreve-se sucintamente seu funcionamento a seguir:

- 1- Inicialmente é realizado o corte das ponteiros da cana-de-açúcar pelos despontadores;
- 2- Em seguida é conduzida pelos divisores de linha e apoiada pelo rolo tombador para a realização do corte basal;
- 3- Sendo direcionada para os rolos alimentadores até chegar aos rolos picadores onde é cortada em rebolos de aproximadamente 30 centímetros;
- 4- No extrator primário, a maior parte das impurezas é removida por sucção,
- 5- Os colmos são conduzidos pelo elevador de taliscas, passando pelo extrator secundário para nova remoção de impurezas e são descarregados, normalmente, em sistemas de transbordo específicos.



Fonte: Adaptado de JOHN DEERE (2006).

Figura 4. Colhedora autopropelida de cana-de-açúcar picada e principais mecanismos.

Segundo MAGALHÃES e BRAUNBECK (1998 apud OLIVEIRA, 2003) uma das principais limitações das colhedoras de cana-de-açúcar picada está relacionado aos mecanismos de corte e limpeza. O mecanismo cortador é composto por dois discos que apresentam em suas extremidades facas fixas em cada rotor. Os discos posicionam-se na entrelinha da cultura durante a operação de corte, não se adaptando ao sistema de plantio em sulcos utilizados no Brasil e conseqüentemente conduzem para os mecanismos internos da colhedora elevada quantidade de solo, aumentando a proporção de impurezas no material colhido.

A maioria das colhedoras comercializadas atualmente no Brasil possuem este mesmo mecanismo citado, atuando da mesma forma, portanto, apresentando os mesmos pontos negativos, apesar das pesquisas desenvolvidas para melhorar o corte basal como as de VOLPATO (2001), OLIVEIRA (2003), GRAY (2008) e CASTRO NETO (2011).

Avaliações em colheita mecanizada

Com o objetivo de verificar a influência da velocidade de deslocamento (1,5 a 7,0 km h⁻¹) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua, o desempenho operacional de uma colhedora foi avaliado por RIPOLI et al. (1999), sendo que a capacidade efetiva de colheita (tonelada de cana-de-açúcar colhida por hora) aumentou em 576% da menor para a maior velocidade, com as perdas variando entre 6,1 e 9,9%. Além disso, os autores relataram que o consumo de combustível teve redução de 378% com o aumento da velocidade.

Em avaliação de protótipo de cortadora-amontoadora para colheita de cana-de-açúcar, ORSOLINI (2002) avaliou o desempenho operacional e econômico e constatou redução de 85% nos custos em relação ao corte manual com queima prévia.

NEVES (2003), em sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, avaliou as perdas proporcionadas pela colhedora, que variaram de 2 a 11%. A partir destas informações, propôs alternativas para a redução das perdas, como a instalação de câmera filmadora para auxiliar o operador no controle da altura de corte, e a proposta de novo mecanismo para controle da altura de corte. Após avaliações, concluiu que o mecanismo testado foi eficiente, reduzindo as perdas durante a colheita.

A terceira alternativa apresentada por NEVES (2003) foi substituir o material das facas dos rolos picadores para aumentar a resistência ao desgaste destas peças, não obtendo sucesso. A última proposta foi utilizar monitor de perdas instalado no extrator primário da colhedora, que correspondeu satisfatoriamente ao objetivo, verificando correlação positiva entre a rotação do extrator e eficiência de limpeza, porém, também positiva com as perdas.

Os danos causados pelo tráfego durante a colheita mecanizada sobre as soqueiras de cana-de-açúcar foram avaliados por PAULA (2010), que monitorou características referentes ao solo, compactação e densidade, e à planta, falhas de brotação, perfilhamento, biometria e produtividade. Constatou que, para solo argiloso, o tráfego sobre a soqueira gerou aumento da compactação e redução da produtividade e do comprimento dos colmos, sem interferência nas falhas de brotação e perfilhamento. Assim, concluiu que o tráfego acidental sobre as soqueiras, pode afetar negativamente

a produção da cultura da cana-de-açúcar, principalmente em solos argilosos, e que o tráfego controlado não afetou o desenvolvimento da cultura.

Como o corte da cana-de-açúcar é realizado por impacto, utilizando discos rotativos dotados de múltiplas facas, a deflexão do colmo e o corte de base são responsáveis pelos danos à soqueira e no colmo colhido. A alternativa para o corte por impacto é o corte dos colmos por deslizamento (MELLO e HARRIS, 2003). Os autores testaram comparativamente facas lisas e serrilhadas, inclinadas e perpendiculares com relação ao colmo, constatando que os danos são reduzidos com o emprego de facas serrilhadas e inclinadas à frente.

SANTOS (2008) determinou a influência do desgaste das facas do mecanismo do corte basal sobre a rebrota de cana-de-açúcar, concluindo que 60 dias após a colheita, o número de perfilhos foi superior quando a colheita foi realizada com a utilização de facas novas.

Para gerar informações a serem aplicadas em técnicas de Agricultura de Precisão, PAGNANO (2001) relata o desenvolvimento de sistema de medição automática da produtividade para colhedoras de cana-de-açúcar, que permite a elaboração de mapas digitais com informações de sistemas de posicionamento. A construção do sistema obteve resultados satisfatórios, com erro estimado em 5%, demonstrando a viabilidade de aplicação destas técnicas também na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

CERRI (2005) também apresentou soluções para instrumentação de colhedora de cana-de-açúcar, com intuito de mapear a produtividade e correlacionar os dados com atributos físicos e químicos do solo. Com a utilização de sensores para determinação do peso do material colhido ao passar pelo sistema de descarga da colhedora, e informações geradas por sistema de posicionamento, possibilitou-se a elaboração dos mapas propostos, com erro máximo de 6,4% em relação à pesagem do transbordo realizada na usina. Já a correlação com os atributos do solo foram consideradas insuficientes para explicar as diferenças constatadas no mapa de produtividade.

Todavia, a Agricultura de Precisão é mais do que a simples geração de mapas de produtividade ou de atributos do solo. Ciente disso, GUIMARÃES (2004) criou uma base de dados geográficos para subsidiar a definição da geometria dos talhões e o traçado dos carregadores, para áreas de produção canavieira. Adotando técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilitou aumentar a eficiência de percurso, reduzir o tempo de manobras e ampliar a área mecanizável.

Controle Estatístico de Qualidade

A manutenção e a melhoria da qualidade são determinantes para o sucesso de qualquer sistema. STUART et al. (1996) destacam que a aplicação de ferramentas simples, como o Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), foram mais impactantes para a solução de problemas, importantes para o desenvolvimento do conceito de Controle de Qualidade.

A hipótese do CEQ é de que a qualidade é assegurada com a redução da variabilidade das principais características do produto ou do processo. Em todo processo existe variação, que pode ter origem em causas comuns ou especiais. O primeiro tipo consiste na variação natural do processo, aleatória e difícil de ser controlada e sua redução pouco influencia na qualidade. O segundo tipo, de origem externa ao processo, são suficientes para causar variabilidade e afetar a qualidade, sendo o foco das ferramentas de controle.

No CEQ existem diversas técnicas e ferramentas de análise da variabilidade que podem ser utilizadas e que fornecem informações para a tomada de decisão, inclusive para operações agrícolas mecanizadas.

No agronegócio, cada vez mais empresas disputam o mercado, seja na produção de alimentos ou de bioenergia. E com esta competitividade, as empresas tendem a buscar ferramentas para a redução de seus custos produtivos e melhoria de seus produtos, o que gera possibilidades de implantação do controle de qualidade nas empresas que buscam este diferencial.

A gestão da qualidade aplicada à agricultura pode proporcionar benefícios como aumento da produtividade, da qualidade dos produtos e redução de custos com

efetivação do desenvolvimento sustentável e melhoria da qualidade de vida do trabalhador rural e agroindustrial (BONILLA, 1994).

A utilização de ferramentas estatísticas de controle da qualidade possibilita a detecção de variações ou oscilações indesejáveis perante os padrões especificados para as operações agrícolas (BONILLA, 1994). Assim, são evitados desperdícios e alcançados acréscimos na produtividade, usando a detecção e imediata solução das falhas (LOPES et al., 1995).

A Carta de Controle, ferramenta precursora do CEQ, apresentada por Walter Shewhart em 1924 (STUART et al. 1996) é a ferramenta estatística mais importante dos sistemas de controle e melhoria da qualidade. O conceito das cartas de Shewhart é simples – se o processo é monitorado regularmente, seu comportamento será conhecido, tornando-se fácil identificar quando não está estável – e para identificar a instabilidade, propôs as cartas de controle.

A Análise de Capacidade do Processo, como explica REIS (2001), refere-se à uniformidade do processo, sendo a variabilidade uma medida desta, que por sua vez, permitirá avaliar a qualidade, podendo determinar qual é a capacidade do processo produzir itens dentro das especificações.

Segundo MONTGOMERY (1997 apud REIS, 2001) a análise da capacidade envolve técnicas estatísticas durante todo o ciclo produtivo, com atividades de desenvolvimento anteriores ao processo em estudo, quantificação e análise da variabilidade em relação às especificações do produto, e tem auxiliado na melhoria da qualidade.

Selecionar indicadores mensuráveis ou passíveis de análise é uma tarefa primordial em processos que envolvam critérios de qualidade, para que permitam avaliar o resultado final. Assim devem ser definidos os indicadores de qualidade a serem analisados, com respectivos padrões de qualidade ou limites de especificação, baseados em critérios agrícolas e/ou econômicos adotados (SUGISAWA, 2004).

Indicadores podem ser obtidos em todas as operações agrícolas envolvidas no processo produtivo. Os modelos mais utilizados para cálculo de custos operacionais de sistemas mecanizados de produção agrícola avaliam basicamente fatores quantitativos

relacionados a gastos com mão-de-obra, combustível, insumos, capacidade operacional, etc. e, na maioria das vezes, os fatores qualitativos não são avaliados adequadamente, dificultando a verificação de sua influência no rendimento financeiro da produção (DODSON, 1998).

Qualidade na colheita mecanizada

BURLEIGH et al. (1988 apud NEVES, 2003), notaram que na colheita mecanizada de cana-de-açúcar o decréscimo da qualidade tecnológica da matéria-prima, devido à maior incidência de impurezas, e o aumento das perdas, podem exceder qualquer redução de custos obtida pela mecanização. Afirmam que cada 1% de acréscimo de impurezas determina um decréscimo de 1,3 a 1,4% de açúcar recuperável e um aumento proporcional nos custos de transporte. Níveis de impurezas de 2 a 5% são típicos em sistemas de colheita semimecanizado bem conduzidos, enquanto que em colheita mecânica estes índices variam de 5 a 8% em cana-de-açúcar com porte ereto, mas em condições adversas (sem queima ou porte deitado) podem ficar na faixa de 10 a 20%.

Em trabalho sobre qualidade no processo de colheita mecanizada, COELHO (2009) destaca que a produção de cana-de-açúcar pode ser entendida como processo fornecedor-cliente, sendo a colheita de extrema importância, pois, além de sua expressiva participação nos custos e ser a última etapa da fase agrícola, é responsável pelo fluxo contínuo de matéria-prima na fase industrial. Desta forma, salienta a necessidade do planejamento adequado desta operação, que pode ser auxiliado com ferramentas do Controle de Qualidade.

A metodologia Desdobramento da Função Qualidade (QFD, acrônimo do inglês para *Quality Function Deployment*) foi empregada por COELHO (2009) em usina produtora de açúcar e álcool, considerando a colheita mecanizada como fornecedor. Assim, pôde definir que a capacidade de processamento da colhedora, o tempo efetivo em operação, o tempo e o número de manobras e o tempo perdido com falta de transbordo são os principais requisitos técnicos que devem ser priorizados para o sucesso e melhoria do processo.

SALVI (2006) salienta a importância do corte de base em colheita mecanizada de cana-de-açúcar na qualidade e perda de matéria-prima e na longevidade do canavial, amparado pela constante preocupação dos fabricantes, também presente na bibliografia especializada, em criar dispositivos para auxiliar os operadores no controle da altura de corte. Deste modo, o autor propôs estudo sobre a influência do dispositivo semiautomático de controle da altura de corte das colhedoras, na qualidade do corte basal, utilizando técnicas do Controle Estatístico de Processos (CEP) para avaliação dos resultados. Entretanto, constatou que, independente do emprego ou não do dispositivo, os índices obtidos não atendem aos padrões especificados pelas usinas para as variáveis analisadas.

A avaliação de capacidade do processo de corte em colheita mecanizada de cana-de-açúcar, considerando o tamanho dos rebolos como indicador da qualidade do processo foi realizada por PELOIA et al. (2007), identificando que em canaviais com queima pré-colheita a variabilidade deste indicador foi maior, conseqüentemente, reduzindo a qualidade do processo.

CORRÊA et al. (2007) avaliaram o mecanismo de corte basal em função das perdas quantitativas, medindo as perdas visíveis após a operação de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, e também em função das qualitativas, pelos danos causados à soqueira. Os resultados apresentados mostraram que a maior contribuição para as perdas foi referente aos pedaços soltos (37%), e que a porcentagem de colmos com danos classificados como fragmentados foi mais evidente.

A avaliação da qualidade operacional durante a colheita mecanizada, utilizando como indicadores a disponibilidade de tempo da colhedora e dos conjuntos de trator e transbordos, consumo de combustível e as perdas decorrentes da colheita foram avaliadas por PELOIA e MILAN (2007), que relataram que há indisponibilidade de 12,1% dos equipamentos, e recomendaram que regulagens específicas na colhedora podem minimizar as perdas em até 69%.

SILVA et al. (2007) determinaram as perdas de matéria-prima ocorridas durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar nos períodos diurno e noturno, destacando

que a porcentagem de perdas totais foram satisfatórias – inferiores a 7% – entretanto, do ponto de vista do CEQ, podem ser reduzidas com a diminuição da variabilidade.

Mecanismo de corte basal

Um dos problemas iniciais no processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, principalmente com relação aos danos e às impurezas, está no mecanismo de corte basal.

As colhedoras de cana-de-açúcar possuem dispositivo de corte basal rotativo com múltiplas facas que produzem corte inercial por impacto, realizando as funções de corte, varredura e alimentação ao mesmo tempo (VOLPATO, 2001).

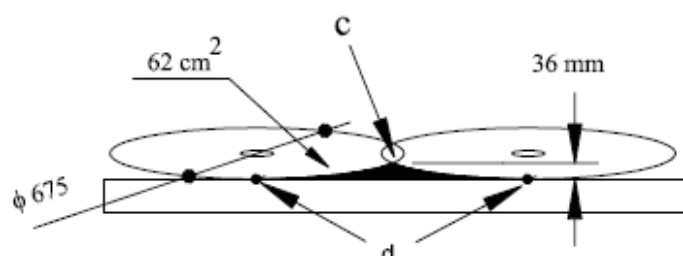
Segundo NEVES (2003), o corte basal é um dos itens de maior importância em uma colhedora de cana, pois está diretamente ligado à qualidade da matéria-prima e aos níveis de perda de cana-de-açúcar na colheita.

Na maioria delas, este dispositivo está rigidamente acoplado à colhedora e não acompanha perfeitamente as ondulações do solo, sendo que algumas possuem sistema de ajuste de altura acionado pelo operador, o que gera um atraso no tempo de resposta do mecanismo.

BRAUNBECK e MAGALHÃES (2002) relataram alguns sistemas disponíveis para seguimento do microrrelevo do solo, podendo ser realizada por mecanismos ativos ou passivos, apresentando as limitações e alternativas para melhorar o desempenho destes. No caso da cana-de-açúcar, cujos colmos podem estar deitados ou próximos à superfície do solo, o sistema de corte basal convencional é considerado pelos autores como insatisfatório, pois, conforme seu modo de operação têm-se apenas duas situações: melhoria na qualidade da matéria-prima e corte mais elevado e com consequente aumento das perdas (Figura 5), ou redução de perdas e aumento das impurezas (Figura 6).

Assim, a ineficiência do corte basal ora é causada pelo corte elevado, deixando-se de colher matéria-prima, e ora causada pelo enterramento das facas no solo, gerando desgaste excessivo das facas e até sua quebra, ocasionando sua troca pré-

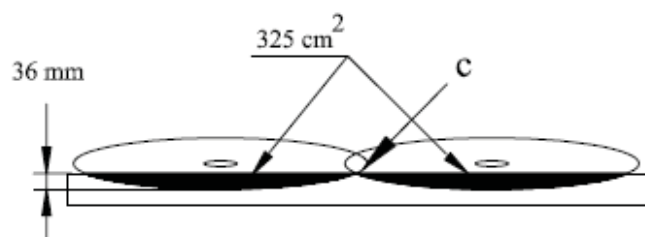
matura, aumento da quantidade de impurezas minerais no material colhido e ainda, danos à soqueira, reduzindo seu potencial de rebrota.



c: ponto de corte; d: ponto de tangência com a superfície do solo.

Fonte: BRAUNBECK e MAGALHÃES (2002).

Figura 5. Modo de operação do mecanismo de corte basal de colhedoras de cana-de-açúcar para melhoria da qualidade da matéria-prima.



c: ponto de corte.

Fonte: BRAUNBECK e MAGALHÃES (2002).

Figura 6. Modo de operação do mecanismo de corte basal de colhedoras de cana-de-açúcar para redução de perdas.

Constata-se que a evolução tecnológica das colhedoras de cana-de-açúcar picada não foi significativa nos últimos anos, não havendo grandes mudanças desde sua implantação nos canaviais, dos conceitos nos vários sistemas de processamento de cana-de-açúcar e principalmente de componentes mecânicos, eletrônicos e hidráulicos, diferentemente da evolução apresentada pelas colhedoras de cereais (NEVES, 2003). Portanto, para o autor, justifica-se o investimento em novas tecnologias e aprimoramentos que modernizem estas máquinas tornando-as mais eficientes e produtivas em operação no campo.

Aliado ao bom projeto de sistematização, NORONHA et al. (1991 apud ORSOLINI, 2002) afirmam ser importante que sejam fornecidos cursos de treinamento aos operadores de máquinas, uma vez que o Brasil carece de mão-de-obra especializada, fato responsável por um dos maiores problemas para se alcançar a mecanização agrícola eficaz.

As vantagens apresentadas pelo uso do corte mecânico são evidentes, entretanto, algumas peculiaridades – principalmente quanto ao mecanismo de corte basal – relacionadas às interações máquina-planta durante a colheita têm gerado danos à cana-de-açúcar (KROES e HARRIS, 1996 apud VOLPATO, 2001).

Os danos aos colmos e às soqueiras de cana-de-açúcar provocam perdas na produção. Os danos ao colmo aumentam a possibilidade do primeiro rebolo ser desperdiçado no extrator de impurezas. Os danos à soqueira podem ocasionar redução de produção na colheita seguinte, por facilitar o ataque de pragas e doenças ou por destruir ou remover as novas gemas responsáveis pela brotação e formação do novo canavial (VOLPATO 2001).

Projetos para colheita de cana-de-açúcar

O processo mecânico de remoção da folha (despalhamento) dos colmos da cana-de-açúcar foi abordado por OLIVEIRA (1998), em testes realizados em laboratório para medição das variáveis envolvidas neste processo. Utilizou como parâmetros de desenvolvimento do mecanismo de rolos para despalhamento, a força de ruptura da folha e o coeficiente de atrito da folha com a borracha que revestiam os rolos. Entretanto, a baixa eficiência de remoção relatada pelo autor (máxima de 5,6%) inviabilizou o mecanismo, porém não foram identificados danos mecânicos aos colmos e gemas.

Outra proposta de unidade de despalhamento de colmos de cana-de-açúcar foi apresentada por ALBRECHT NETO (2006), que consistiu de rolos oscilantes montados em série, para posterior integração às colhedoras de cana-de-açúcar inteira. Após a construção e avaliação da unidade piloto, concluiu como satisfatória a operacionalidade

do equipamento, com a contemplação dos requisitos de baixo custo e demanda de potência para o dispositivo.

Para suprir a inexistência de mecanismos flutuantes para seguimento do microrrelevo do solo adaptado às colhedoras de cana-de-açúcar, VOLPATO (2001) projetou um mecanismo de quatro barras para o cortador de base, com o objetivo de minimizar a força normal de reação do solo, e concluiu que o mecanismo representa um recurso simples e robusto, no entanto não atendeu completamente o seguimento do microrrelevo do solo, devido à complexidade deste processo.

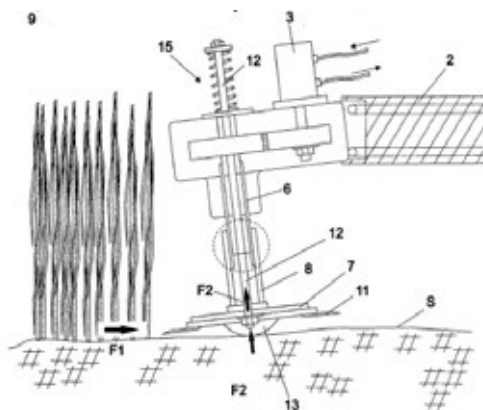
De semelhante modo, GRAY (2008) propôs o projeto e construção de suspensão pantográfica (mecanismo de quatro barras) para o dispositivo de corte basal em sistema de auxílio mecânico de colheita de cana-de-açúcar. Utilizando esquema com patins para realizar a leitura do microrrelevo do solo e células de carga posicionadas nos patins para medir a força de interação patim-solo, o dispositivo atingiu satisfatoriamente os objetivos, em testes realizados em caixa de solo, realizando o seguimento do microrrelevo do solo.

Com o intuito de apresentar alternativa ao mecanismo convencional de discos rígidos que equipam a maioria das colhedoras de cana-de-açúcar, OLIVEIRA (2003) desenvolveu mecanismo de discos segmentados, com o objetivo de acompanhar a superfície do solo e realizar a varredura da cultura acamada, com capacidade de retração mecânica da faca diante de obstáculos, como pedras e tocos. Após testes e simulações, concluiu que o mecanismo teve desempenho satisfatório e com relativa confiabilidade nos dados.

GUPTA et al. (1996) apresentaram colhedora de cana-de-açúcar inteira, de baixo custo, autopropelida adaptada a trator de rabiça, destinada a pequenos produtores de países em desenvolvimento, que não possuem acesso às colhedoras tradicionais. A máquina reduz a penosidade do trabalho durante o corte e o enleiramento e atingiu capacidade de campo média de $0,13 \text{ ha h}^{-1}$, com eficiência de 71%, substituindo satisfatoriamente o corte manual.

PINTO e DANIEL (2005) desenvolveram um dispositivo para acompanhamento do microrrelevo do solo, adaptável ao mecanismo de corte basal das colhedoras de

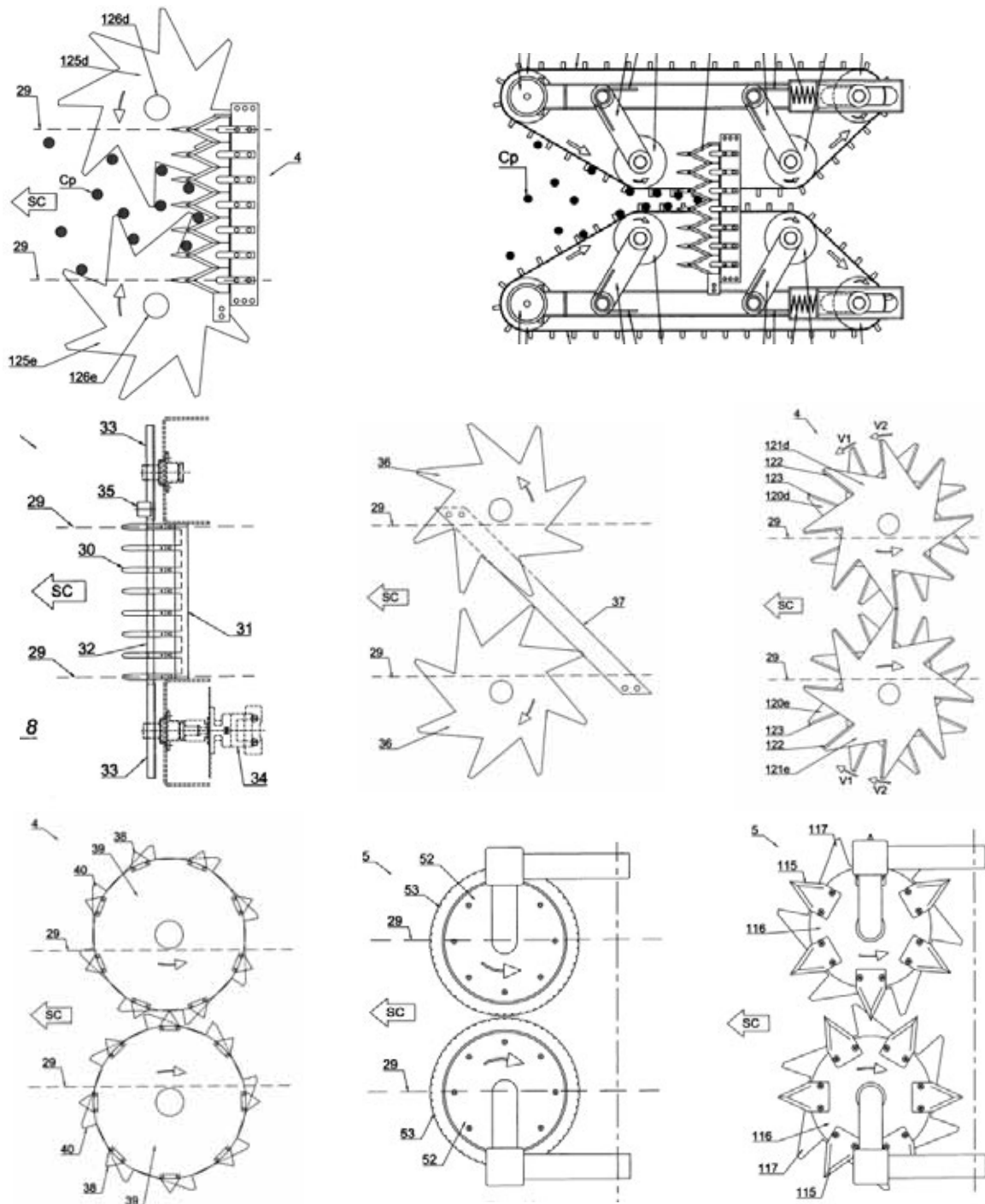
cana-de-açúcar, que, diferentemente dos mecanismos tradicionais dotados de braços articulados para deslocar todo o mecanismo (conjunto motriz, caixa de engrenagens, mancais, eixos, discos e facas), permite o deslocamento somente do eixo de acionamento do disco, utilizando um mecanismo deslizante, reduzindo o peso e inércia do sistema de flutuação (Figura 7).



Fonte: PINTO e DANIEL (2005).

Figura 7. Vista lateral do mecanismo proposto por PINTO e DANIEL (2005).

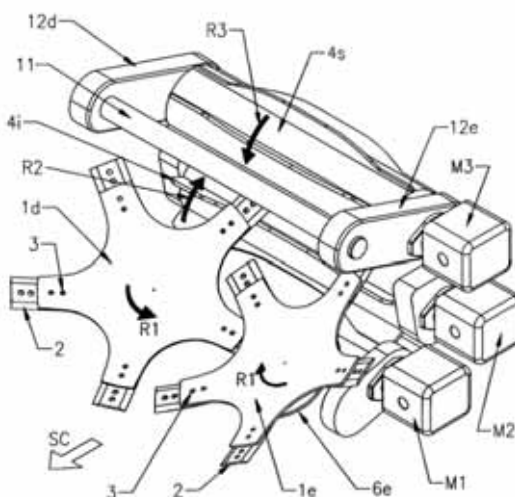
Alguns dispositivos distintos para a realização do corte basal em colheita mecanizada de cana-de-açúcar foram patenteados pela empresa MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (2007a), destinados à colheita dos colmos na posição vertical. Na Figura 8, da esquerda para a direita e de cima para baixo: dispositivo de corte com facas triangulares oscilantes em que os colmos são conduzidos por discos em formato de estrela rotativas; corte com facas triangulares oscilantes e colmos conduzidos por correias com taliscas; corte com serra de fita; corte com lâmina fixa; corte com discos estrelados concêntricos com mesmo sentido de rotação e velocidades distintas; facas triangulares em discos rotativos com mesmo sentido de rotação e velocidades distintas; corte com discos com bordas diamantadas; facas triangulares em discos e discos estrelados rotativos concêntricos com mesmo sentido de rotação e velocidades distintas.



Fonte: MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (2007a).

Figura 8. Diferentes dispositivos propostos para o mecanismo de corte basal por MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (2007a).

Em outra patente, MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (2007b) apresenta proposta de outro mecanismo de corte basal, composto por dois discos côncavos em formato de estrela, em substituição aos discos convencionalmente utilizados, como pode ser visto na Figura 9, cujo intuito é reduzir altura de corte discutida na Figura 5 e o volume de solo mobilizado exemplificado na Figura 6.



Fonte: MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (2007b).

Figura 9. Mecanismo de corte basal proposto por MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (2007b).

O desenvolvimento de dispositivo acessório que pode ser instalado em colhedoras de cana-de-açúcar picada, destinado a somente cortar a fileira adjacente à que está sendo colhida, para ser processada posteriormente, foi proposto por CASTRO NETO (2011), com a principal finalidade de aumentar a capacidade de campo durante a operação.

KROES (1997) realizou estudo investigativo sobre o processo de produção de cana-de-açúcar na Austrália, focando nos danos ocorridos aos colmos e às soqueiras e sua relação com a colheita mecanizada. Conduziu inicialmente testes para verificar o comportamento do colmo quanto aos danos e perdas em função do mecanismo de corte basal, determinando os critérios para a avaliação. Construiu um dispositivo para avaliar em laboratório os danos mecânicos, identificando os parâmetros que influenciam

o comportamento dos colmos durante a colheita. Outros dois dispositivos foram projetados, o primeiro para medir a resistência dos colmos à flexão, simulando a ação dos rolos tombadores das colhedoras e verificar os danos causados à base, e o outro para determinar a força e a energia requeridas para realizar o corte por impacto dos colmos. Estas informações possibilitaram ao autor modelar o processo de corte basal para investigar a operação de colheita, a fim de prevenir os danos e perdas causados pelo mecanismo de corte.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT NETO, E. **Projeto, construção e avaliação de uma unidade de despalhamento para cana-de-açúcar**. 2006. 77 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- BONILLA, J. A. **Qualidade total na agricultura**: fundamentos e aplicações. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade Total na Agricultura, 1994. 344 p.
- BRAUNBECK, O.; BAUEN, A.; ROSILLO-CALLE, F.; CORTEZ, L. Prospects for green cane harvesting and cane residue use in Brazil. **Biomass & Bioenergy**, v. 17, p. 495-506, 1999.
- BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Seguimento do perfil do solo no corte e/ou levantamento de produtos agrícolas rasteiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6., n. 1, p. 151-158, 2002.
- CASTRO NETO, F. Felix de Castro Neto. **Dispositivo acessório de corte aplicável à colhedoras combinadas de cana-de-açúcar**. PI0901295-8 A2, 29 abr. 2009, 04 jan. 2011.
- CERRI, D. G. P. **Agricultura de Precisão em cana-de-açúcar: instrumentação de uma colhedora, mapeamento da produtividade e de atributos do solo**. 2005. 173 f. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- COELHO, M. F. **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar**: safra 2005/2006, terceiro levantamento, dezembro/2005. Brasília:

Conab, 2005. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 17 out. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar:** safra 2006/2007, terceiro levantamento, novembro/2006. Brasília: Conab, 2006. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 17 out. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** cana-de-açúcar, safra 2007/2008, terceiro levantamento, novembro/2007. Brasília: Conab, 2007. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 17 out. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** cana-de-açúcar, safra 2008/2009, terceiro levantamento, dezembro/2008. Brasília: Conab, 2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 17 out. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** cana-de-açúcar, safra 2009/2010, terceiro levantamento, dezembro/2009. Brasília: Conab, 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 17 out. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil:** Edição para a safra 2008/2009. Brasília: Conab, 2010. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/perfil_cana.pdf>. Acesso em: 07 out. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** cana-de-açúcar, safra 2010/2011, terceiro levantamento, janeiro/2011. Brasília: Conab, 2011a. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 17 out. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** cana-de-açúcar, safra 2011/2012, segundo levantamento, agosto/2011. Brasília: Conab, 2011b. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 17 out. 2011.

CORRÊA, C. F.; SILVA, R. P.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A. Avaliação de perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito, MS. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. 1 CD-ROM.

DODSON, M. S. **Avaliação da influência de indicadores de qualidade no custo operacional de um sistema de produção de milho (*Zea mays* L.): estudo de caso de semeadura.** 1998. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1998.

GARCIA, R. F.; SILVA, L. S. Avaliação do corte manual e mecanizado de cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia na Agricultura**, v. 18, n. 3, p. 234-240, 2010.

GLOBO RURAL. Clima e canaviais antigos reduzem produtividade da cana-de-açúcar. **Globo Rural Online**, 27 abr. 2011. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI228893-18078,00-CLIMA+E+CANAVIAIS+ANTIGOS+REDUZEM+PRODUTIVIDADE+DA+CANADEACUCAR.html>>. Acesso em: 29 out. 2011.

GRAY, G. R. **Metodologia de projeto de suspensão pantográfica para corte de base de cana-de-açúcar**. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

GUIMARÃES, R. V. **Aplicação de geoprocessamento para o aumento da eficiência de percurso em operações agrícolas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

GUPTA, C. P.; LWIN, L.; KIATIWAT, T. Development of a self-propelled single-axle sugarcane harvester. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 427-434, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 06 nov. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Evolução da produtividade da cana-de-açúcar no Brasil**, 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23 jan. 2007.

JOHN DEERE. **Colhedora de cana John Deere 3510**: Manual do operador. 6. ed. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2006. 238 p.

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

LOPES, M. B.; LUNARDI FILHO, D.; PECHE FILHO, A.; COELHO, J. L. D.; MILAN, M. Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar. **Stab: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 13, n. 3, p. 26-30, 1995.

MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (BR/SP). Sergio Sartori Junior, Adilson Fábio Bazucco, José Sasaki, Paulo Henrique Ferraz do Amaral Filho. **Métodos e equipamento para colher cana**. BR PI0505161-4 A, 08 nov. 2005, 07 ago. 2007a.

MÁQUINAS AGRÍCOLAS JACTO S.A. (BR/SP). Adilson Fábio Bazucco, José Sasaki, Sergio Sartori Junior. **Cortador de base**. BR PI0600071-1 A, 05 jan. 2006, 02 out. 2007b.

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

MORAES, C. Há área disponível para a cana-de-açúcar sem comprometer as reservas florestais e as demais culturas? **Revista Canavieiros**, n. 15, p. 10-11, 2007.

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

NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A. O cenário econômico e seu impacto no setor canavieiro. **Revista Canavieiros**, n. 15, p. 09, 2007.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. F.; CONSOLI, M. A. **Mapeamento e Quantificação do Setor Sucroenergético em 2008**. Fundace, 2009. Disponível em: <<http://unica.com.br/download.asp?mmdCode={B4F6D2DE-1988-4E2F-994E-47C05020611B}>>. Acesso em: 29 out. 2011.

OLIVEIRA, C. A. A. **Estudo das características de ruptura da folha da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) para desenvolvimento de despalhadores de rolos**. 1998. 81 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

OLIVEIRA, C. A. A. **Modelagem e validação experimental de um cortador basal com discos segmentados**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ORSOLINI, J. M. **Protótipo de cortadora-amontoadora: desempenhos operacional e econômico em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) com queima prévia**. 2002. 99 f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PAGNANO, N. B. **Sistema de medição de fluxo de cana-de-açúcar em colhedoras para a geração de mapas de produtividade**. 2001. 88 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

PAULA, V. R. **Avaliação dos danos causados pelo inadvertido tráfego de veículos sobre as soqueiras de cana-de-açúcar**. 2010. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Indicadores de desempenho operacionais de uma frente de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito, MS. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. 1 CD-ROM.

PELOIA, P. R.; MILAN, M.; IGLESIAS, R. G.; FONTANA, G.; PAULI, D. G. Capacidade do processo de corte de toletes de cana-de-açúcar colhidos mecanicamente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito, MS. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. 1 CD-ROM.

PINTO, L. A. C. M. R.; DANIEL, E. (BR/SP). Luiz Antonio Cerveira de Mello Ribeiro Pinto, Edgar Daniel. **Mecanismo copiador de solo para o corte de base de colheitadeiras de cana de açúcar**. BR PI0401172-4 A, 26 mar. 2004, 13 dez. 2005.

RAC. Clima derruba produção da cana-de-açúcar em Ribeirão. **Rede Anhanguera de Comunicação**, 25 jan. 2011. Disponível em: <<http://www.rac.com.br/noticias/campinas-e-rmc/73743/2011/01/25/clima-derruba-producao-da-cana-de-acucar-em-ribeirao.html>>. Acesso em: 29 out. 2011.

REIS, M. M. **Um modelo para o ensino do controle estatístico de qualidade**. 2001. 380 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

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

SALVI, J. V. **Qualidade do corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SANTOS, E. P. **Rebrota de duas variedades de cana-de-açúcar colhida crua sob dois níveis de desgaste das facas do mecanismo de corte basal**. 2008. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Legislação do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.legislacao.sp.gov.br/legislacao/index.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2011.

SILVA, R. P.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; CHIODEROLI, C. A.; SANT'ANA, C.; LOPES, A. Perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar nos períodos diurno e noturno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito, MS. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. 1 CD-ROM.

STUART, M; MULLINS, E.; DREW E. Statistical quality control and improvement. **European Journal of Operational Research**, v. 88, p. 203-214, 1996.

SUGUISAWA, J. M. **Diagnóstico da condição tecnológica, sob a ótica da qualidade, das operações mecanizadas da cultura do trigo em sistema plantio direto**. 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro**, 2007. Disponível em: <http://unica.com.br/userFiles/Protocolo_Assinado_Agroambiental.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Relatório de sustentabilidade 2008**, 2008. Disponível em: < <http://unica.com.br/download.asp?mmdCode={BF39B10A-8E01-4557-916A-C9E04BA61F91}>>. Acesso em: 04 nov. 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Estimativa da safra 2011/2012 na região Centro-Sul do País**: posição em 1º de novembro de 2011, 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/download.asp?mmdCode=A2A57385-0B55-4083-A513-5D5CA91BF23C>>. Acesso em: 06 nov. 2011.

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

CAPÍTULO 2 – FACAS DO CORTE BASAL E QUALIDADE OPERACIONAL DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR CRUA

RESUMO – O Controle de Qualidade é utilizado para a avaliação de processos e produtos e é poderosa ferramenta para identificação e redução da variabilidade. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua, utilizando como indicadores a altura de corte e os danos causados às soqueiras, proporcionados por combinações de facas e discos do mecanismo de corte basal das colhedoras. A altura de corte demonstrou elevada variabilidade com processo sob controle para alguns tratamentos, entretanto, não apresentou resultados satisfatórios. O índice de danos foi menor nos tratamentos que proporcionavam inclinação às facas, porém acima da meta estabelecida em todos os tratamentos, ocasionando elevados danos às soqueiras. De forma geral, o processo de colheita mecanizada, avaliado por estes indicadores foi considerado incapaz de atingir a meta e se manter dentro dos limites especificados, necessitando de ações corretivas para a melhoria da qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Altura de corte, análise de capacidade, controle estatístico, índice de danos.

INTRODUÇÃO

O corte basal de cana-de-açúcar é um dos maiores causadores de danos e perdas em colheita mecanizada. O corte dos colmos é realizado pelo impacto das facas do mecanismo de corte, situação em que os danos ocorrem. A mecanização das áreas de produção cresce a cada ano e a preocupação com a qualidade e a longevidade dos canaviais deve ser ressaltada, pois, estima-se que a colheita mecanizada proporcione maiores danos quando comparada à colheita manual ou semimecanizada.

A influência do tipo de faca no corte dos colmos de cana-de-açúcar foi estudada por MELLO e HARRIS (2003), concluindo que a faca com inclinação à frente e passo serrilhado de 3 mm apresentou o melhor resultado quanto aos danos ao colmo, em testes realizados em laboratório.

Novamente estudando facas serrilhadas para o corte basal, MELLO (2005) concluiu que o perfil serrilhado de passo 3 mm foi o que obteve menor força específica de corte, porém sem diferir da força encontrada para o perfil liso, tanto a 450 como a 600 rpm para a velocidade tangencial das facas.

Como afirmam MONTGOMERY e RUNGER (2003) qualidade significa adequação ao uso. Ao exporem esta ideia, os autores querem dizer que somente se obtém qualidade quando se atende às exigências do cliente, ou no caso da mecanização em cana-de-açúcar, da operação subsequente dentro do processo produtivo.

Variabilidade é redução da qualidade, porém, não existe processo ausente de variabilidade. Então como é possível melhorar o processo? A solução é a estabilidade. Os processos possuem duas fontes de variabilidade, a inerente (devido a causas comuns, aleatórias, naturais, dificilmente removidas do processo) e a externa ao processo (devido a causas especiais, não aleatórias, indesejáveis). Para obter processo estável e, conseqüentemente, com os padrões de qualidade desejados, a variabilidade não aleatória necessita ser controlada.

Ferramentas estatísticas de controle da qualidade são destinadas a detectar variações ou oscilações indesejáveis com base em indicadores pré-selecionados,

confrontando-os a padrões especificados, com a finalidade de inibir a ocorrência de falhas. Assim, evitam-se gastos desnecessários com ações corretivas e podem ser alcançados acréscimos na produtividade após a detecção e solução das possíveis falhas.

A investigação de indicadores de qualidade para operações agrícolas, em especial para a cultura da cana-de-açúcar, é realizada no Brasil desde os anos 90, estudando-se o preparo do solo, aplicação de defensivos e corretivos, plantio e colheita. Pesquisas realizadas por SALVI et al. (2007), CAMPOS et al. (2008), SILVA et al. (2008), REIS (2009) e PELOIA et al. (2010) já enumeraram indicadores de qualidade para as operações mecanizadas em cana-de-açúcar, concluindo que o monitoramento destes pode aumentar os níveis de qualidade da operação.

A hipótese deste trabalho é de que os danos causados às soqueiras podem ser utilizados como indicadores da qualidade do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, e que esta qualidade sofre influência dos conjuntos de facas e discos de corte basal.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua, utilizando como indicadores a altura de corte e os danos às soqueiras proporcionados pelo mecanismo de corte basal em cinco configurações.

MATERIAL E MÉTODOS

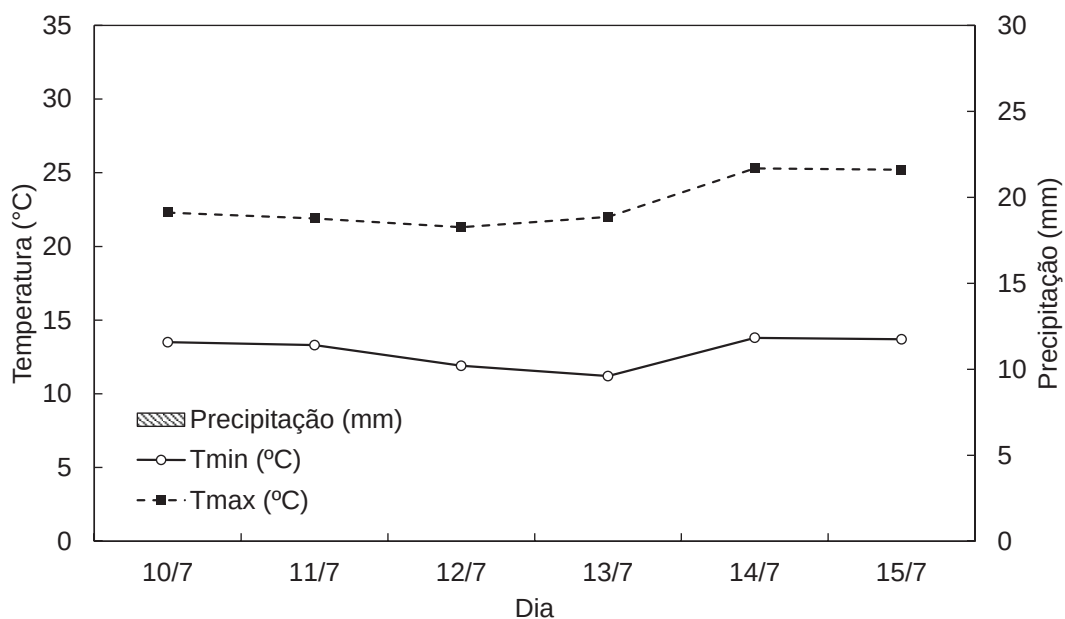
A avaliação descrita neste capítulo foi realizada durante a colheita de cana-de-açúcar na safra 2008/2009, determinando-se o nível de qualidade da operação, com diferentes conjuntos de discos e facas do mecanismo de corte basal. Foram mensurados o porte do canavial, a altura média de corte, o diâmetro e os danos causados aos colmos das soqueiras após a colheita mecanizada.

Delineamento experimental

As avaliações foram conduzidas na Fazenda Morumbi, localizada no município de Guariba, São Paulo, Brasil, coordenadas 21°25' S e 48°07' O, com altitude média de 530 m e clima Aw pela classificação Köppen-Geiger. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO Vermelho eutroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1999), textura argilosa (argila: 48%; silte: 12%; areia: 40%), com declividade média de 6%.

O trabalho foi realizado no período de 10 a 15 de julho de 2008, durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar em área de aproximadamente 50 ha, utilizando uma colhedora CASE IH A7700 (velocidade média de colheita de 4,7 km h⁻¹), com mecanismo de corte basal equipado com os conjuntos de discos e facas descritos na Tabela 2, sem utilização de controle automático da altura de corte.

Na Figura 10 são apresentadas informações climáticas (temperaturas mínima e máxima e precipitação) para a cidade de Jaboticabal, São Paulo, no período de execução das avaliações.



Fonte: AGRITEMPO (2012).

Figura 10. Informações climáticas para Jaboticabal - SP no período do experimento.

Caracterização do canavial

A variedade de cana-de-açúcar foi a SP91-1049, colhida em primeiro corte. O porte do canavial foi verificado como forma de caracterização da cultura antes da colheita, em vinte pontos para cada tratamento com dez repetições, utilizando-se a metodologia do triângulo-padrão proposta por RIPOLI (1996), classificando os colmos em eretos (ângulo com relação ao solo superior a 45°), acamados (ângulo entre 22,5 e 45°) e deitados (ângulo abaixo de 22,5°).

Mecanismos do corte basal avaliados

Foram avaliados cinco tratamentos, constituídos por três modelos de facas e três de discos para o mecanismo de corte basal, cujas características estão descritas nas Tabelas 3 e 4, combinados em cinco disposições, conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2. Conjuntos de discos e facas testados (safra 2008/2009).

Tratamentos	Facas*	Discos*
Facas lisas Discos convencionais (FLDC)		
Facas lisas Discos inclinados (FLDI)		
Facas serrilhadas Discos convencionais (FSDC)		
Facas serrilhadas Discos inclinados (FSDI)		
Facas de troca rápida Discos de troca rápida (FDTR)		

*fora de escala

Tabela 3. Características das facas do mecanismo de corte basal lisa, serrilhada e de troca rápida avaliadas no experimento.

Facas*	Lisa	Serrilhada	Troca rápida
Comprimento	270 mm	270 mm	190 mm
Largura	90 mm	90 mm	89 mm 60 mm
Espessura	6 mm	5 mm	6 mm
Massa	0,840 kg	0,733 kg	0,610 kg
Furos	4 x 12,7 mm (1/2")	4 x 12,7 mm (1/2")	1 x 12,7 mm (1/2")**
Material	Aço-Cromo SAE 5160	Aço-Cromo SAE 5160	Aço-Carbono SAE 1070

*Informações fornecidas pelo fabricante; **Não utilizado para fixação.

Tabela 4. Características dos discos do mecanismo de corte basal, convencional, inclinado e de troca rápida avaliados no experimento.

Discos*	Convencional	Inclinado	Troca rápida
Diâmetro externo	563 mm	563 mm	563 mm
Espessura	12,7 mm	12,7 mm	12,7 mm
Massa	26,5 kg	26,5 kg	25,8 kg
Número de facas	5	5	5
Ângulo das facas**	-	15°	4,36°
Material	Aço-Carbono SAE 1020	Aço-Carbono SAE 1020	Aço-Carbono SAE 1020

*Informações fornecidas pelo fabricante; **O disco inclinado proporciona às facas angulação de 15° para trás com relação à linha radial; As facas de troca rápida possuem angulação em função de seu formato trapezoidal.

Indicadores de qualidade

A altura de corte e os danos causados aos colmos das soqueiras foram adotados como indicadores de qualidade do processo. Para cada tratamento, compostos pelas combinações das facas e discos, as avaliações foram realizadas em 40 soqueiras, ordenadas sequencialmente em função da colheita, delimitadas por uma armação quadrada de 0,25 m².

Altura de corte

Medida da altura perpendicular do colmo até o nível do solo, usando-se como referência o ponto em que as facas do mecanismo de corte incidiram sobre o colmo. Foi obtida a média aritmética para cada soqueira, com base no número de colmos presentes.

Índice de danos

Determinou-se para os experimentos, uma metodologia de avaliação dos danos causados às soqueiras de cana-de-açúcar (índice de danos) apresentada na Tabela 5. O índice de danos proposto representa em um único valor a classificação atribuída às soqueiras quanto aos colmos sem danos (SD), com danos parciais (PD) ou danos extremos (ED).

Todos os colmos delimitados pela armação foram contados e classificados com base na Tabela 5, simultaneamente por dois avaliadores, realizando-se a média aritmética das avaliações.

Para determinar o nível de qualidade do corte realizado, propôs-se o cálculo do índice de danos (i_D) para cada ponto de amostragem (soqueira), atribuindo-se pesos para cada classificação enunciada na Tabela 5, calculando-se conforme a equação:

$$i_D = \frac{p_{SD} \cdot n_{SD} + p_{PD} \cdot n_{PD} + p_{ED} \cdot n_{ED}}{N} \quad (1)$$

em que,

i_D - índice de danos,

p_{SD} - peso atribuído aos colmos sem danos (-1),

n_{SD} - quantidade de colmos sem danos,

p_{PD} - peso atribuído aos colmos com danos parciais (-0,33),

n_{PD} - quantidade de colmos com danos parciais,

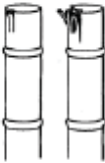
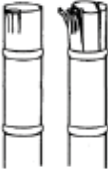
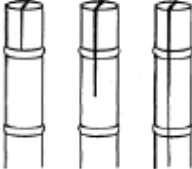
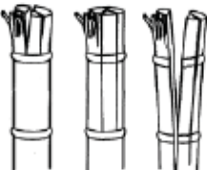
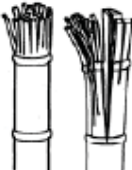
p_{ED} - peso atribuído aos colmos com danos extremos (1),

n_{ED} - quantidade de colmos com danos extremos e

N - número total de colmos na soqueira.

Assim, calculou-se o índice de danos para cada soqueira avaliada e procedeu-se com a aplicação das ferramentas do Controle Estatístico de Processos (CEP).

Tabela 5. Classificação dos danos causados aos colmos após a colheita mecanizada.

Classificação	Limite inferior	Limite superior	Peso
Sem danos (SD)			-1,00
Danos parciais (PD)			-0,33
Danos Extremos (ED)			1,00

Fonte: Adaptado de KROES (1997).

Quanto mais próximo de 1,00, maior é o dano ocasionado às soqueiras, pois, demonstra que houve maior quantidade de colmos classificados como danos extremos em relação às outras classes. Inversamente, quanto mais próximo de -1,00, os colmos sofreram menos danos, sendo totalmente sem danos quando o índice for igual a este valor.

Controle Estatístico de Processos

O controle estatístico deve ser considerado como método dinâmico e interativo, no qual se observa o desempenho atual do processo, compara-se com padrões especificados, tomam-se decisões, e efetuam-se mudanças no processo para

aproximá-lo ao padrão desejável. As ferramentas do CEP utilizadas nesta análise são brevemente descritas a seguir.

Cartas de controle

Cartas de controle foram utilizadas para verificar a estabilidade do processo, seguindo metodologia descrita por MONTGOMERY e RUNGER (2003). Um processo estável demonstra somente causas comuns de variação, a variabilidade inerente ou natural dos dados. Causas especiais são devidas a fatores externos, e afetam diretamente a variação, e devem ser identificadas e minimizadas ou até eliminadas quando o foco é a melhoria da qualidade.

O modelo de carta de controle selecionado para os indicadores de qualidade apresenta um gráfico para as observações individuais, e outro para a variação do processo, obtida pela amplitude calculada entre duas observações sucessivas.

Quando alguma observação ultrapassa os limites de controle, calculados com base na própria variação do processo, esta é destacada na carta de controle e o processo é considerado fora de controle, pois, está sob ação de causas especiais de variação.

Análise de capacidade

Fundamentalmente, esta análise determina a capacidade do processo pela comparação da dispersão da variação do processo (amplitude ou desvio padrão) com a extensão dos limites especificados (determinados com base nos requisitos mínimos exigidos pela operação), conforme apresentado por MONTGOMERY e RUNGER (2003). Portanto, calcula-se razão entre a abrangência da variação do processo e a abrangência dos limites especificados, obtendo assim a habilidade do processo ser capaz de produzir resultados, produtos ou serviços dentro destes limites.

Adotou-se como referência para o índice de capacidade (Cpk) o proposto por BONILLA (1994), sendo o processo classificado como “capaz” para índice igual ou superior a 1,33; “parcialmente capaz” entre 1,00 e 1,32; “incapaz” para índice inferior a 1,00.

Com base no observado em avaliações anteriores e no sugerido pela administração da fazenda, foram adotados os limites inferior e superior especificados (LIE e LSE), expostos na Tabela 6, para os indicadores de qualidade.

Tabela 6. Limites especificados para os indicadores de qualidade.

Indicador de qualidade	LIE	META	LSE
Altura de corte	0 mm	50 mm	100 mm
Índice de danos	-1,00	-0,47*	0,00

LIE: Limite inferior especificado; LSE: Limite superior especificado.

*A meta calculada de -0,47 para o índice de danos foi obtida considerando-se que 40% dos colmos avaliados fossem considerados sem danos, 50% com danos parciais e 10% com danos extremos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Previamente realizou-se o teste de correlação de Pearson entre as variáveis deste estudo, apresentado na Tabela 7, não resultando em correlação significativa entre o porte do canavial, a altura de corte e o índice de danos. Assim, foram aplicadas somente técnicas univariadas, utilizando as ferramentas do controle estatístico de processos.

Tabela 7. Matriz de correlação para altura de corte, porte do canavial e índice de danos.

Variáveis*	Porte do canavial			Índice de danos
	Eretos	Acamados	Deitados	
Altura de corte	-0,185 0,100	0,111 0,328	0,004 0,970	-0,014 0,845
Índice de danos	0,154 0,173	0,043 0,702	-0,114 0,315	

*Células contêm na linha superior o coeficiente de correlação de Pearson e na inferior o valor-p, significativo quando $p < 0,05$

Porte do canavial

O porte do canavial foi caracterizado como deitado (ângulo entre o colmo e o solo abaixo de $22,5^\circ$), com base nos resultados apresentados na Figura 11, para as áreas onde se realizou as avaliações dos tratamentos FSDC, FLDI, FSDI e FDTR. Para a área do tratamento FLDC, a porcentagem de colmos acamados (55%) foi superior à de colmos deitados (45%). Não foi detectada porcentagem expressiva de colmos eretos (ângulo acima de 45°) para nenhum tratamento, sendo que na avaliação da área do tratamento FLDC este valor foi 0%.

De maneira geral, o porte foi considerado deitado, o que pode influenciar a qualidade da colheita mecanizada, interferindo no desempenho operacional da colhedora.

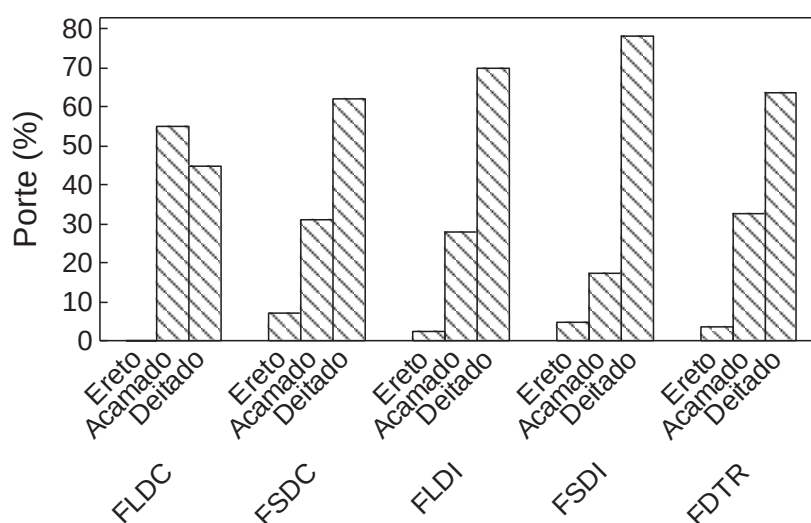


Figura 11. Porte do canavial nos tratamentos avaliados.

Altura de corte e diâmetro dos colmos

As médias para altura de corte e diâmetro dos colmos para cada tratamento avaliado podem ser visualizadas na Tabela 8. Na Figura 12 é apresentada a carta de controle do processo para altura de corte, utilizada como indicador de qualidade da operação de colheita mecanizada.

Tabela 8. Altura de corte e diâmetro médios dos colmos nos tratamentos avaliados.

Tratamento	FLDC	FSDC	FLDI	FSDI	FDTR
Altura de corte (mm)	71,5	56,1	50,8	59,6	52,8
Diâmetro (mm)	30,6	29,9	30,7	30,3	30,4

FLDC: Facas lisas/Disco convencional; FSDC: Facas serrilhadas/Disco convencional;
FLDI: Facas lisas/Disco inclinado; FSDI: Facas serrilhadas/Disco inclinado;
FDTR: Facas e discos de troca rápida.

Pode ser verificado na carta de controle da variação do processo para a altura de corte (Figura 12), representada pela amplitude entre dois pontos consecutivos (amplitude móvel), que no tratamento FLDI o processo está fora de controle estatístico, situação também constatada para FLDC, quando observada a carta para valores

individuais. Utilizando o mesmo indicador, SALVI et al. (2007) relataram processo fora de controle para a altura de corte em colheita mecanizada, com ou sem utilização de dispositivo automático de controle.

As observações em FLDI que tiveram amplitude acima do limite superior de controle (LSC) representam que houve variação abrupta entre uma observação e a seguinte, indicando que a variação existente no processo não é devida somente a causas naturais. Porém, neste tratamento os limites de controle foram mais estreitos do que para os outros tratamentos, em função da menor dispersão dos dados. Assim, mesmo que os outros tratamentos apresentem pontos com valor superior aos destes pontos fora de controle, todavia não ultrapassaram os limites em função da variação existente em cada tratamento.

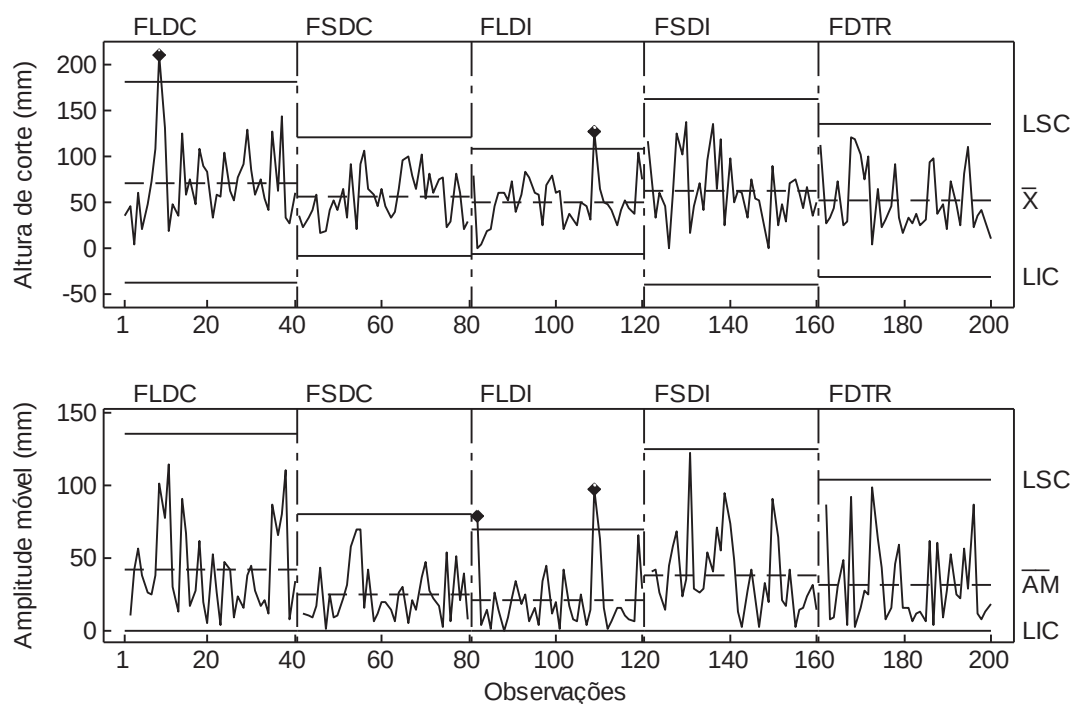


Figura 12. Carta de controle para a altura de corte nos tratamentos avaliados.

Se o processo fosse analisado somente pela média da altura de corte (menor: FLDI 50,8 mm; maior: FLDC 71,5 mm) poder-se-ia dizer que atingiu resultados satisfatórios, considerando-se os limites especificados da Tabela 6. Porém, mascara-se

desta forma a variabilidade temporal demonstrada pela altura de corte, o que, consequentemente, reduz a qualidade da operação de colheita mecanizada.

Nos tratamentos que apresentaram pontos destacados na carta de controle houve ação de causas especiais de variação, configurando o processo como fora de controle e afetando a qualidade da operação. Os tratamentos que apresentaram melhores resultados de estabilidade da altura de corte foram o FSDC, seguido pelo FDTR, com médias próximas a 50 mm e variação dentro dos limites de controle. Para os tratamentos em processo controlado, a análise de capacidade da Figura 13 indica que não são capazes de atender às especificações (Tabela 6) devido à amplitude de sua variação, ultrapassando os limites especificados.

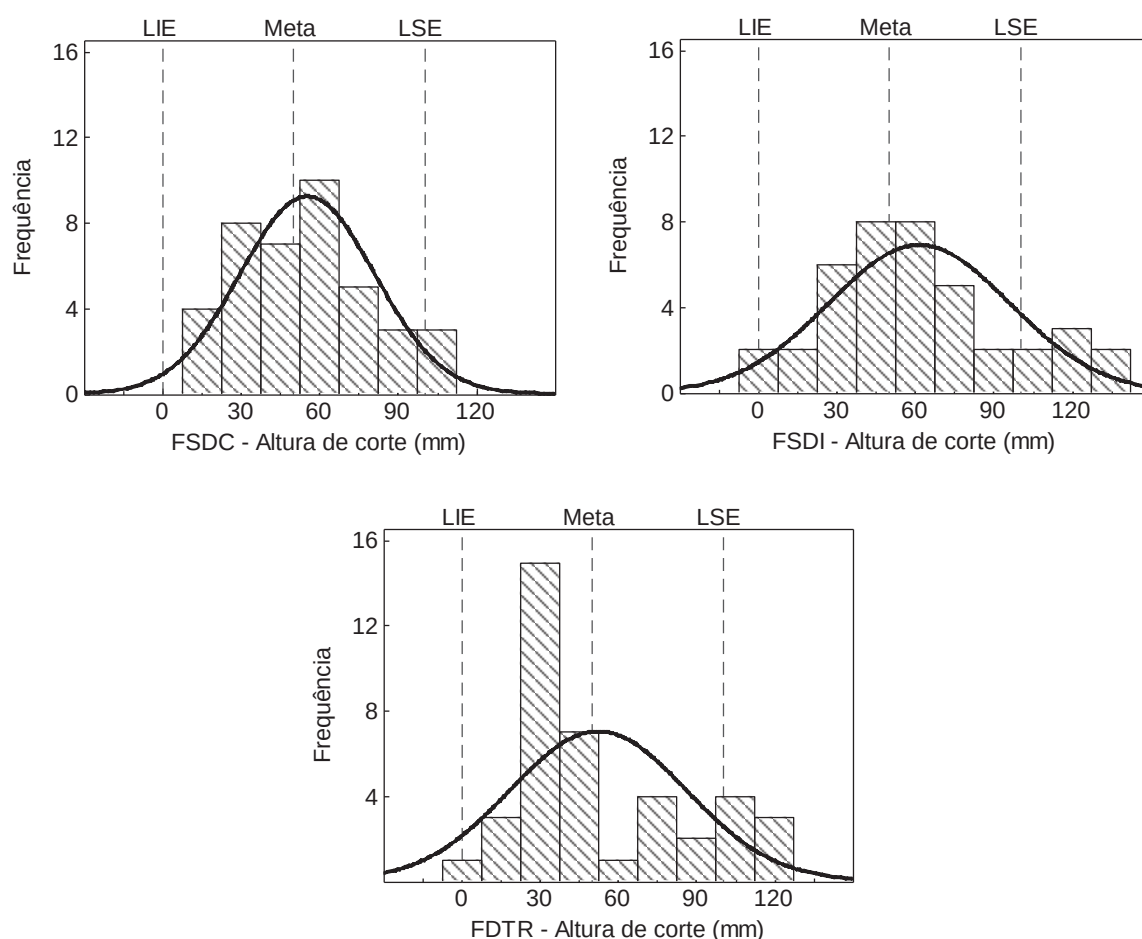


Figura 13. Análise de capacidade para a altura de corte nos tratamentos sob controle.

Na Tabela 9 podem ser visualizados os índices de capacidade (*Cpk*) para a altura de corte nos tratamentos que estavam sob controle, cujos valores classificam o processo nos três tratamentos como incapaz de produzir resultados satisfatórios, com base nos limites especificados.

Novamente, o tratamento que demonstrou melhores resultados para a altura de corte foi o FSDC, que apresentou 92,50% das observações contidas entre os limites de 0 e 100 mm. Analisando os gráficos da análise de capacidade, visualiza-se que os três tratamentos não estão centrados na meta do processo e apresentaram observações acima do limite superior especificado (LSE).

Tabela 9. Análise de capacidade do processo para altura de corte.

	FSDC	FSDI	FDTR
<i>Cpk</i>	0,69	0,38	0,57
% abaixo do LIE	0,00	0,00	0,00
% acima do LSE	7,50	15,00	15,00
% dentro das especificações	92,50	85,00	85,00
Classificação (BONILLA, 1994)	Incapaz	Incapaz	Incapaz

Cpk: Índice de capacidade; LIE: Limite inferior especificado; LSE: Limite superior especificado;
FSDC: Facas serrilhadas/Disco convencional; FSDI: Facas serrilhadas/Disco inclinado;
FDTR: Facas e discos de troca rápida.

Índice de danos

O índice de danos proposto representa em um único valor a classificação atribuída às soqueiras, conforme descrito na Tabela 5, quanto aos colmos sem danos, com danos parciais ou danos extremos.

A média do índice de danos variou entre 0,36 e 0,59 (Tabela 10), acima da meta estabelecida de -0,47, representando que os danos causados às soqueiras durante o processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar foram elevados em todos os tratamentos, evidenciando o nível de qualidade do corte abaixo do ideal.

Tabela 10. Porcentagem média dos danos causados às soqueiras.

Tratamentos	FLDC	FSDC	FLDI	FSDI	FDTR
SD (%)	7,8	3,2	6,4	5,9	13,4
PD (%)	27,1	24,6	31,5	27,5	28,5
ED (%)	65,1	72,1	62,0	66,6	58,1
Índice de danos	0,48	0,59	0,42	0,52	0,36

SD: colmos sem danos; PD: colmos com danos periféricos; ED: colmos com danos extremos;
 FLDC: Facas lisas/Disco convencional; FSDC: Facas serrilhadas/Disco convencional;
 FLDI: Facas lisas/Disco inclinado; FSDI: Facas serrilhadas/Disco inclinado;
 FDTR: Facas e discos de troca rápida.

Na Figura 14, os tratamentos FSDC, FLDI e FDTR demonstraram processo fora de controle estatístico, confirmando a elevada variabilidade dos indicadores de qualidade da operação de colheita mecanizada.

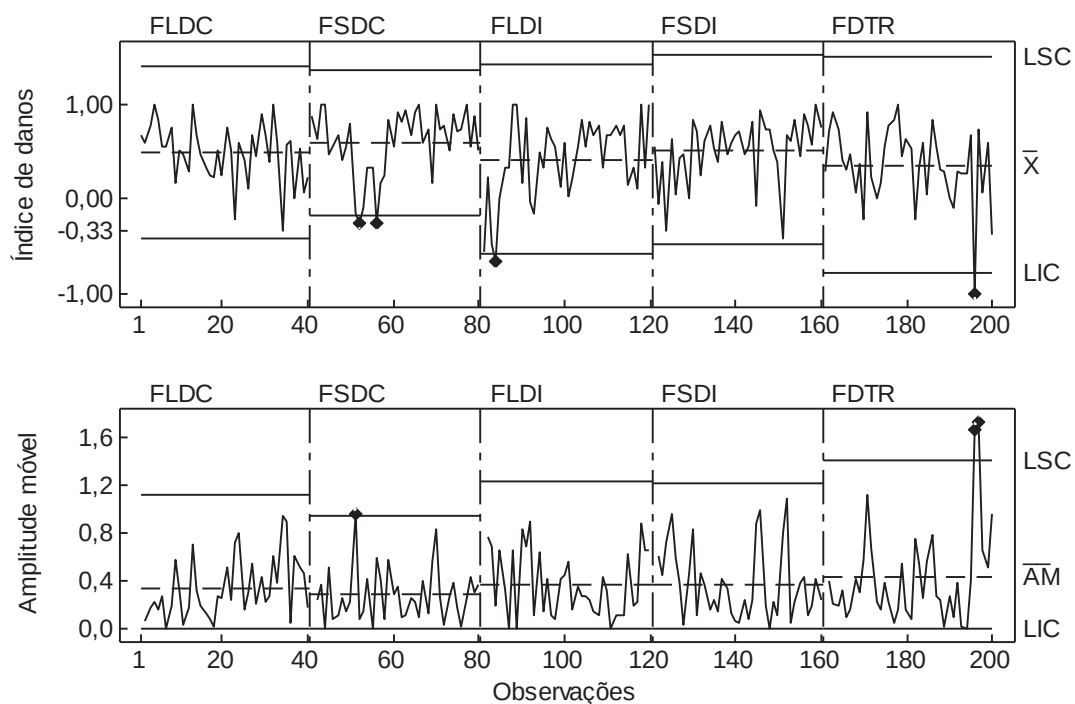


Figura 14. Carta de controle para o índice de danos às soqueiras nos tratamentos avaliados.

A análise de capacidade para os tratamentos que tiveram processo considerado estável, apresentada na Figura 15, indica que tanto FLDC como FSDI são incapazes de atenderem aos limites especificados para a operação, e indicam que a colheita mecanizada não atenderá os níveis de qualidade exigidos, conforme os limites estabelecidos na Tabela 6.

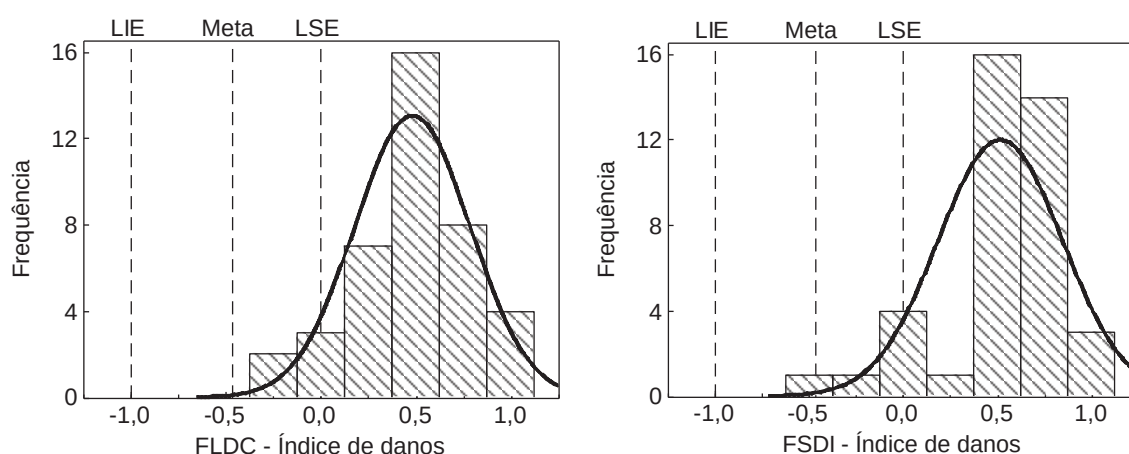


Figura 15. Análise de capacidade para o índice de danos às soqueiras nos tratamentos sob controle.

Dentre as configurações de facas e discos avaliados, de maneira geral, pode se afirmar que os tratamentos que proporcionavam inclinação às facas do corte basal em relação ao colmo no momento do corte (FDTR e FLDI), apresentaram melhor desempenho, em virtude do menor índice de danos (Tabela 10).

CONCLUSÕES

Os resultados das avaliações em operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua permitiram inferir que a qualidade do corte é influenciada pelas facas do corte basal em detrimento ao tipo de dispositivo utilizado.

O nível de qualidade da colheita averiguado foi considerado abaixo do ideal e não atende às especificações estabelecidas.

O tratamento que apresentou melhor resultado para o índice de danos foi o que era composto por facas e discos de troca rápida (FDTR).

A metodologia proposta para o cálculo do índice de danos facilitou a interpretação dos resultados de qualidade do corte dos colmos de cana-de-açúcar, por sintetizar em um valor representativo a avaliação realizada.

IMPLICAÇÕES

As avaliações deste capítulo serviram de base para a identificação da necessidade e a formulação das possíveis soluções para a melhoria da qualidade da operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, que configura a segunda fase do projeto.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. **Gráficos**. Disponível em <<http://www.agritempo.gov.br/agroclima/plotpesq?uf=SP>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

RAC. Clima derruba produção da cana-de-açúcar em Ribeirão. **Rede Anhanguera de Comunicação**, 25 jan. 2011. Disponível em: <<http://www.rac.com.br/noticias/campinas-e-rmc/73743/2011/01/25/clima-derruba-producao-da-cana-de-acucar-em-ribeirao.html>>. Acesso em: 29 out. 2011.

BONILLA, J. A. **Qualidade total na agricultura**: fundamentos e aplicações. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade Total na Agricultura, 1994. 334 p.

CAMPOS, C. M.; MILAN, M.; SIQUEIRA, L. F. F. Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 554-564, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

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

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

MELLO, R. C. Influência do formato e velocidade da lâmina nas forças de corte para cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 27, n. 4, p. 661-665, 2005.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 3 ed. New York: John Wiley and Sons, 2003. 706 p.

PELOIA, P. R.; MILAN, M.; ROMANELLI, T. L. Capacity of the mechanical harvesting process of sugar cane billets. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 6, p. 619-623, 2010.

REIS, G. N. **Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 89 f. Tese (Doutorado), FCAV, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2009.

RIPOLI, T.C.C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. p. 635-673.

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

SILVA, R. P.; CORRÊA, C. F.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 292-304, 2008.

CAPÍTULO 3 – CORTE BASAL EM COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM FACAS REVESTIDAS POR CARBETO DE TUNGSTÊNIO

RESUMO – O corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar está relacionado à qualidade da matéria-prima e aos níveis de perdas, que influenciam na produtividade. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do processo de colheita, utilizando como indicador a altura de corte dos colmos proporcionada pelo mecanismo de corte basal. A altura de corte foi medida a cada duas horas num período de sete dias, em colmos de quatro soqueiras por avaliação. Também foi determinado o índice de danos às soqueiras e o desgaste das facas, representado pela perda de massa e afiação da borda cortante. A altura de corte apresentou média de 39 mm, e elevada variação, com desvio padrão de 35 mm. Dessa forma, o processo de colheita, avaliado pela altura de corte, demonstrou instabilidade, impossibilitando atingir níveis adequados e especificados para esta operação.

PALAVRAS-CHAVE: Altura de corte, desgaste, índice de danos.

INTRODUÇÃO

Qualidade operacional é conceituada, no processo de produção agrícola, como a realização de operações ou a obtenção de produtos que estejam adequados às especificações ou aos padrões previamente recomendados (DODSON, 1998).

Segundo BONILLA (1995), a utilização de ferramentas estatísticas de controle da qualidade possibilita a detecção de variações ou oscilações indesejáveis perante aos padrões especificados para as operações agrícolas. Assim, conforme LOPES et al. (1995), são evitados desperdícios e alcançados acréscimos na produtividade, usando a detecção e imediata solução das falhas.

Indicadores podem ser obtidos em todas as operações agrícolas envolvidas no processo produtivo (DODSON, 1998). Selecionar indicadores mensuráveis ou passíveis de análise é uma tarefa primordial nos processos que envolvam critérios de qualidade, para que permitam avaliar o resultado final. Assim devem ser definidos os indicadores de qualidade a serem analisados, com respectivos padrões de qualidade ou limites de especificação, baseados em critérios agrícolas e/ou econômicos adotados (SUGISAWA, 2004).

Aplicando o controle da qualidade em operações mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar, LOPES et al. (1995) concluíram que os índices de variação encontrados para espaçamento entre sulcos nas áreas analisadas foram muito elevados. FERNANDES et al. (2000) também avaliaram a qualidade da subsolagem em área para implantação de cana-de-açúcar, utilizando a profundidade de trabalho como indicador, concluindo que a operação estava fora dos limites especificados, necessitando de intervenções.

CAMPOS et al. (2008) desenvolveram um trabalho de investigação no processo de produção de cana-de-açúcar, que possibilitou a identificação de dezessete variáveis críticas, das quais o espaçamento entre sulcos foi considerada como a mais crítica, pois afetava todo o processo. Com a avaliação desta variável, os autores puderam concluir que não se encontra dentro dos limites de controle e também não atende as

especificações da usina em que as avaliações foram feitas, sugerindo a revisão dos limites e/ou dos sistemas de sulcação.

Avaliando o sistema de corte de base em colhedoras de cana-de-açúcar, SALVI et al. (2007) utilizaram a altura de corte como indicador de qualidade na colheita, e concluíram que o processo não estava sob controle estatístico e foi classificado como incapaz de atingir os limites especificados.

Estudando a influência do manejo do solo nas perdas quali-quantitativas em colheita mecanizada de cana-de-açúcar, REIS (2009) demonstrou que a maioria dos indicadores estudados estava fora de controle estatístico, e que as perdas totais, mesmo apresentando processo controlado, estavam muito acima do limite especificado.

O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, utilizando como indicador a altura de corte, os danos causados às soqueiras, proporcionados pelo mecanismo de corte basal e o desgaste das facas revestidas com carbetto de tungstênio.

MATERIAL E MÉTODOS

Delineamento experimental

Neste estudo, realizou-se a avaliação dos danos às soqueiras ocasionados por facas do corte basal com revestimento composto por adição de liga de carbeto de tungstênio às faces cortantes das facas (Figura 16). As variáveis analisadas neste experimento foram o porte do canavial, a altura de corte, os danos causados às soqueiras e o desgaste das facas durante a colheita mecanizada.

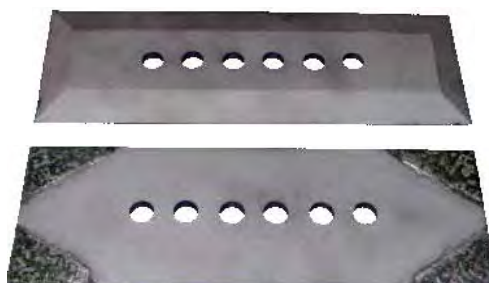
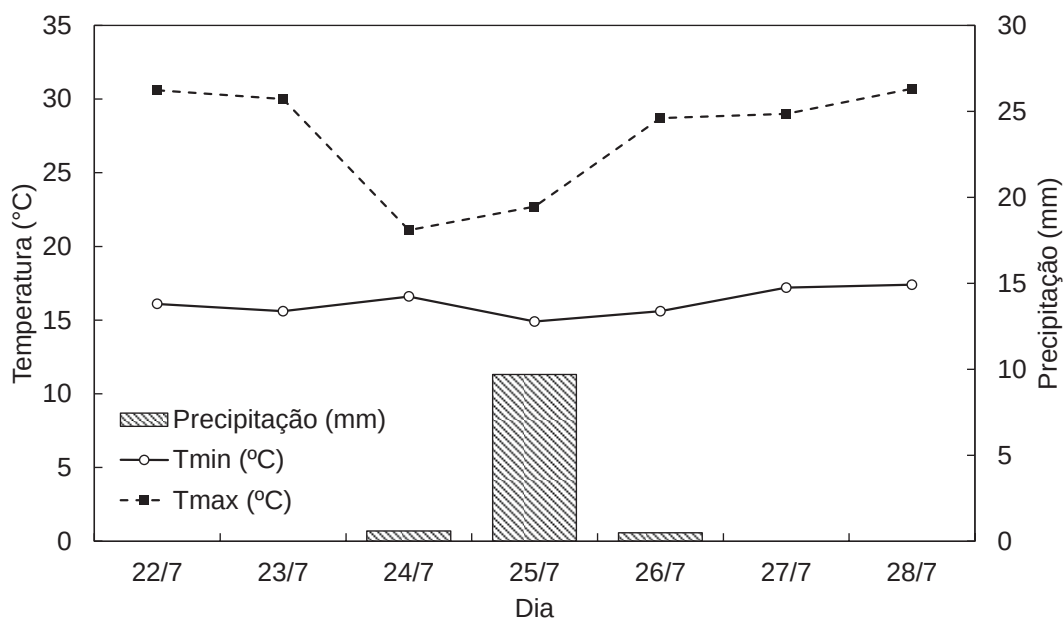


Figura 16. Faca com revestimento de carbeto de tungstênio (vista superior e inferior).

As avaliações foram realizadas na Fazenda Bela Vista em Jaboticabal, São Paulo, Brasil, de clima Aw na classificação Köppen-Geiger e solo classificado como LATOSSOLO Vermelho eutroférico, textura muito argilosa (EMBRAPA, 1999).

O trabalho foi realizado no período de 22 a 28 de julho de 2009, durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando a colhedora CASE IH A7700, com mecanismo de corte basal equipado com facas revestidas com carbeto de tungstênio (Figura 16), montadas em discos convencionais. As informações climáticas do período das avaliações são apresentadas na Figura 17.

Este experimento foi realizado em cinco talhões, cujas informações podem ser visualizadas na Tabela 11, seguindo a programação determinada pela equipe de colheita da fazenda. Esta medida fez-se necessária para que se obtivesse a completa utilização de pelo menos uma das faces cortantes das facas.



Fonte: AGRITEMPO (2012).

Figura 17. Informações climáticas para Jaboticabal - SP no período do experimento.

Tabela 11. Características do local do experimento.

Local:	Fazenda Bela Vista, Jaboticabal – SP.			
Coordenadas geodésicas:	Latitude:	Longitude:	Altitude média:	
	21°25’ S	48°07’ W	530 m	
Declividade média:	6 %			
Solo:	LATOSSOLO Vermelho eutroférico textura: muito argilosa (57,7% de argila)			
Área experimental:	Talhão	Área (ha)	Variedade	Corte
	A	4,49	RB 92-5345	1°
		2,59	CTC 5	1°
	B	15,28	RB 92-5345	3°
	C	9,19	SP 90-1638	4°
	D	8,73	SP 89-1115	4°
	E	15,59	SP 87-365	1°
	Total	55,87		
Colhedora:	Case IH A7700			
	Velocidade média de colheita: 5,5 km h ⁻¹			

Caracterização do canavial

O porte do canavial foi verificado como forma de caracterização da cultura, em dez pontos para cada talhão avaliado, em cada dia de avaliação, utilizando-se a metodologia do triângulo-padrão (RIPOLI, 1996).

Indicadores de qualidade

Foram selecionados como indicadores a altura de corte e os danos causados aos colmos das soqueiras. As medições foram feitas a cada duas horas efetivas de colheita, em quatro pontos, considerados as repetições, avaliando-se todos os colmos delimitados por armação quadrada de 0,25 m².

Altura de corte

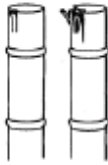
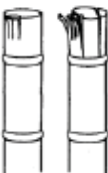
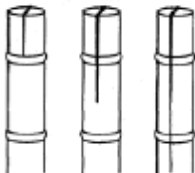
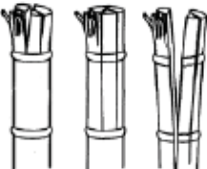
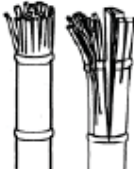
A altura média dos colmos das soqueiras após a colheita, que representa a altura de corte, tomada como indicador de qualidade da operação, foi mensurada a cada duas horas efetivas de colheita, em colmos delimitados por armação quadrada de 0,25 m², disposta aleatoriamente nas fileiras de plantio, com quatro repetições. A medição foi realizada com paquímetro, feita perpendicularmente ao solo, deste até o ponto em que as facas cortaram o colmo.

Índice de danos

Determinou-se para os experimentos, uma metodologia de avaliação dos danos causados às soqueiras de cana-de-açúcar, denominada índice de danos, apresentada na Tabela 12. O índice de danos (i_D) proposto representa em um único valor a classificação atribuída às soqueiras quanto aos colmos sem danos (SD), com danos parciais (PD) ou danos extremos (ED).

Todos os colmos delimitados pela armação foram contados e classificados com base na Tabela 12, simultaneamente por dois avaliadores, realizando-se a média aritmética das avaliações.

Tabela 12. Classificação dos danos causados aos colmos após a colheita mecanizada.

Classificação	Limite inferior	Limite superior	Peso
Sem danos (SD)			-1,00
Danos parciais (PD)			-0,33
Danos Extremos (ED)			1,00

Fonte: Adaptado de KROES (1997).

Para determinar o nível de qualidade do corte realizado, propôs-se o cálculo do índice de danos em cada soqueira, atribuindo-se pesos para cada classificação enunciada na Tabela 12, calculando-se conforme a equação:

$$i_D = \frac{p_{SD} \cdot n_{SD} + p_{PD} \cdot n_{PD} + p_{ED} \cdot n_{ED}}{N} \quad (2)$$

em que,

i_D - índice de danos,

p_{SD} - peso atribuído aos colmos sem danos (-1),

n_{SD} - quantidade de colmos sem danos,

p_{PD} - peso atribuído aos colmos com danos parciais (-0,33),

n_{PD} - quantidade de colmos com danos parciais,

p_{ED} - peso atribuído aos colmos com danos extremos (1),

n_{ED} - quantidade de colmos com danos extremos e

N - número total de colmos na soqueira.

Quanto mais próximo de 1,00, maior é o dano ocasionado às soqueiras, pois, demonstra que houve maior quantidade de colmos classificados como danos extremos em relação às outras classes. Inversamente, quanto mais próximo de -1,00, os colmos sofreram menos danos, sendo totalmente sem danos quando o índice for este valor.

Desgaste das facas

As medições de desgaste foram feitas com base na diferença de massa das facas e da espessura da borda cortante, em função da utilização. Após as medições as facas eram reposicionadas, caso o operador da colhedora considerasse que ainda estavam aptas à utilização.

Massa das facas

O desgaste médio foi mensurado a cada oito horas de operação, em função da troca de turno de operadores, realizando-se a medição da massa das facas com balança digital portátil.

Espessura da face cortante

Foi determinada, a cada oito horas, a espessura da borda cortante de cada faca do mecanismo de corte basal, utilizando paquímetro posicionado conforme a Figura 18.



Figura 18. Esquema de medição da espessura da borda cortante das facas.

Controle Estatístico de Processos

O controle de qualidade deve ser encarado como método dinâmico e interativo, no qual é observado o desempenho atual do processo, em comparação com padrões especificados, tomam-se decisões, e efetuam-se mudanças no processo para aproximá-lo ao padrão desejável.

A metodologia das ferramentas utilizadas, apresentadas a seguir, foi baseada no descrito por MONTGOMERY e RUNGER (2003).

Run charts (gráfico de sequências)

Inicialmente os dados de altura de corte foram analisados por *Run Chart* para verificação da existência de comportamento não aleatório nos dados. Pode ser entendida como um “gráfico de sequências”, em que são realizados dois testes em função da “posição” dos dados em torno da média, para a detecção de tendência, oscilação, mistura e agrupamento no conjunto de dados. Tais padrões de comportamento sugerem que a variação do processo é devida a causas especiais de variação (externas ao processo), que podem ser identificadas, com a aplicação de outras ferramentas, e corrigidas com intervenções no processo, se for o caso.

Cartas de controle

Cartas de controle foram utilizadas para verificar a estabilidade do processo. Um processo estável demonstra somente causas comuns de variação, a variabilidade inerente ou natural dos dados. Causas especiais são devidas a fatores externos que afetam diretamente a variação, e devem ser identificadas e minimizadas quando o foco é a melhoria da qualidade.

Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito também conhecido como “espinha de peixe” ou gráfico de Ishikawa (nome de seu idealizador), é um diagrama para organizar informações provenientes de *brainstorming* (técnica de exposição de ideias) sobre potenciais causas e efeitos do problema em questão. A organização destas

informações auxilia na visualização das relações entre as causas potenciais e colabora na tomada de decisão.

Análise de capacidade

Fundamentalmente, esta análise determina a capacidade do processo pela comparação da dispersão da variação do processo (amplitude ou desvio padrão) com a extensão dos limites especificados (determinados com base nos requisitos mínimos exigidos pela operação). Calcula-se a razão entre a abrangência da variação do processo e a abrangência dos limites especificados, obtendo-se a habilidade do processo ser capaz de produzir resultados, produtos ou serviços dentro destes limites.

Adotou-se como referência para o índice de capacidade (Cpk) a classificação apresentada por BONILLA (1994), sendo o processo considerado “capaz” para índice igual ou superior a 1,33; “parcialmente capaz” entre 1,00 e 1,32; e “incapaz” para índice inferior a 1,00.

Com base no sugerido pela administração da fazenda, foram adotados os limites inferior e superior especificados (LIE e LSE), expostos na Tabela 13, para os indicadores de qualidade.

Tabela 13. Limites especificados para os indicadores de qualidade.

Indicador de qualidade	LIE	META	LSE
Altura de corte	0 mm	50 mm	100 mm
Índice de danos	-1,00	-0,47*	0,00

LIE: Limite inferior especificado; LSE: Limite superior especificado.

*A meta calculada de -0,47 para o índice de danos foi obtida considerando-se que 40% dos colmos avaliados fossem considerados sem danos, 50% com danos parciais e 10% com danos extremos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Porte do canavial

O porte do canavial, como apresentado na Figura 19, pode ser caracterizado como ereto para os talhões estudados, exceto para o talhão C (cultivar SP90-1638, 4º corte) que apresentou alto índice de colmos deitados. Em relação à colheita mecanizada, o talhão B (cultivar RB92-5345, 3º corte) foi o que apresentou melhores condições, com 83% do canavial possuindo porte ereto. De modo geral, o porte pode ser classificado como ereto (forma ângulo igual ou superior a 45° com a horizontal), em 46% da área avaliada.

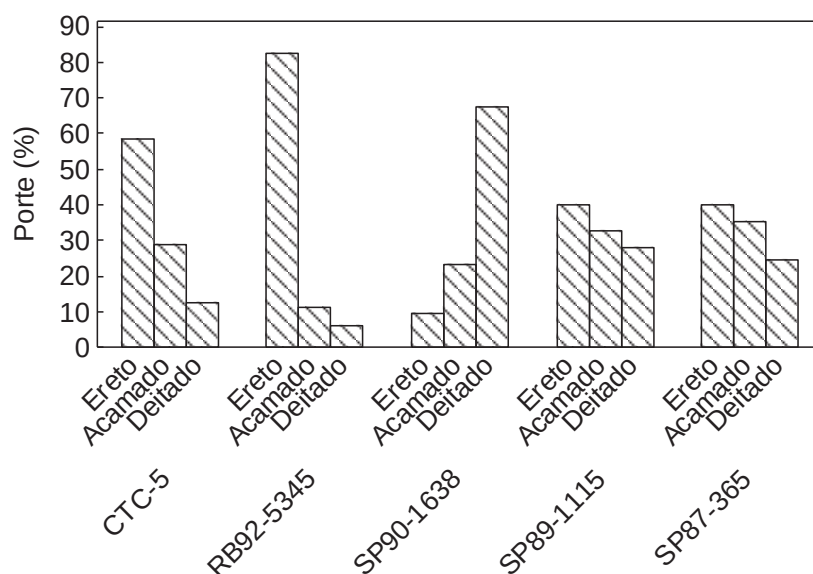


Figura 19. Porte do canavial nas áreas avaliadas conforme a variedade de cana-de-açúcar.

Altura de corte

A *Run Chart* para altura média dos colmos é apresentada na Figura 20, em que a linha destacada representa o comportamento das médias das alturas a cada duas horas de avaliação, e a linha central (tracejada), a média geral do processo, durante as 48 horas efetivas de colheita.

Esta variável apresentou elevada variabilidade, em decorrência das facas tocarem o solo em alguns pontos, o que pode contribuir para o desgaste acelerado das mesmas; e situações em que a altura de corte foi superior a 200 mm, resultando em perdas consideráveis de matéria-prima durante a colheita, como descreveu REIS (2009), que encontrou em média 45% da perda total composta por perdas do tipo toco. No entanto, SILVA et al. (2008) relataram resultados divergentes, com pequena porcentagem de perdas atribuídas a tocos (2%) e maior proporção em pedaço solto (37%).

Esta diferença na composição da perda total em colheita de cana-de-açúcar pode ser entendida em função das condições de colheita, e principalmente, regulação das máquinas, conforme apresentado pelos autores em seus resultados.

O comportamento dos dados para altura de corte pode ser considerado totalmente aleatório, confirmado pelo valor p maior que 0,05 para os testes de agrupamento, mistura, tendência e oscilação, apresentados na Tabela 14.

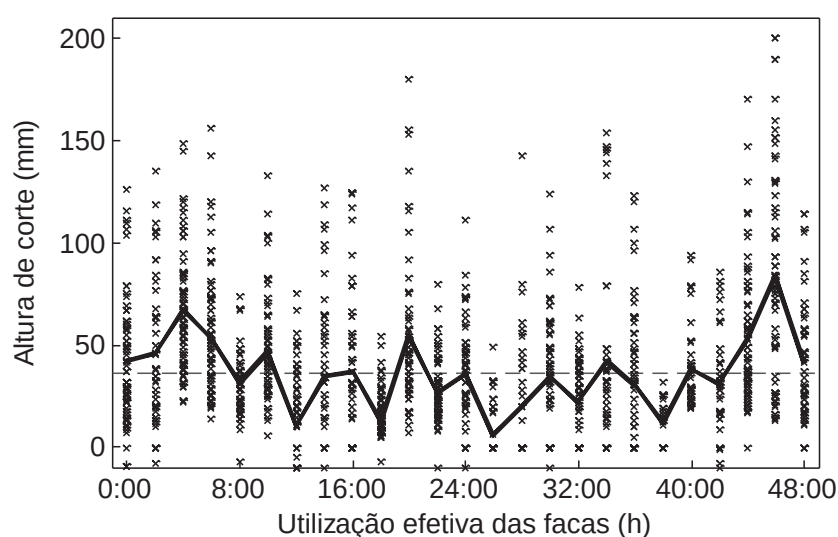


Figura 20. *Run Chart* para altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Para melhor entendimento da *Run Chart* (Figura 20), quando há diferença estatística ($p < 0,05$ na Tabela 14) entre o número observado de transições das médias de cada subgrupo em torno da média geral (Sequências em torno da média) e o

número esperado (Sequências esperadas) há identificação de padrão não aleatório nos dados. Neste caso, se o número observado for maior do que o esperado está ocorrendo mistura de dados de duas populações e se for inferior, há agrupamento dos dados.

Quanto aos testes estatísticos da aleatoriedade dos dados, o mesmo se aplica ao número observado de ascendências ou descendências entre as médias dos subgrupos (Número de sequências crescentes ou decrescentes) e relação ao esperado (Sequências esperadas). Da mesma forma, se o observado for superior ao esperado, há padrão de oscilação, caso contrário, tendência nos dados.

Ainda com relação à altura de corte, observou-se que esta variável apresentou média geral de 39 mm. No entanto, constata-se pela carta de controle (Figura 21) que houve grande variabilidade dos dados, que apresentaram elevada instabilidade. Observou-se que nos talhões A e D ocorreram diversos pontos nos quais as facas tocaram o solo, o que pode contribuir para o desgaste acelerado das mesmas, como discutido anteriormente.

Tabela 14. Parâmetros da *Run Chart* para altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Número de sequências em torno da média:	13	Número de sequências crescentes e decrescentes:	18
Sequências esperadas:	13,5	Sequências esperadas:	16,3
Sequência mais longa:	6	Sequência mais longa:	2
Valor p para agrupamento:	0,422	Valor p para tendência:	0,794
Valor p para mistura:	0,578	Valor p para oscilação:	0,206

Verificando-se a carta de controle para altura de corte (Figura 21), nota-se que vários pontos ultrapassaram os limites de controle, demonstrando que a operação de colheita mecanizada não apresenta estabilidade quanto a essa variável, o que acarreta em redução da qualidade do processo.

Quando se analisa o processo de corte basal, a carta de controle indica que o processo não foi estável, com elevada variação, o que dificulta a obtenção de melhorias na qualidade. Assim como para SALVI et al. (2007), que avaliaram a altura de corte em

colheita mecanizada de cana-de-açúcar, o processo está fora de controle estatístico, com vários pontos ultrapassando os limites de controle, quando analisado pelo indicador altura de corte.

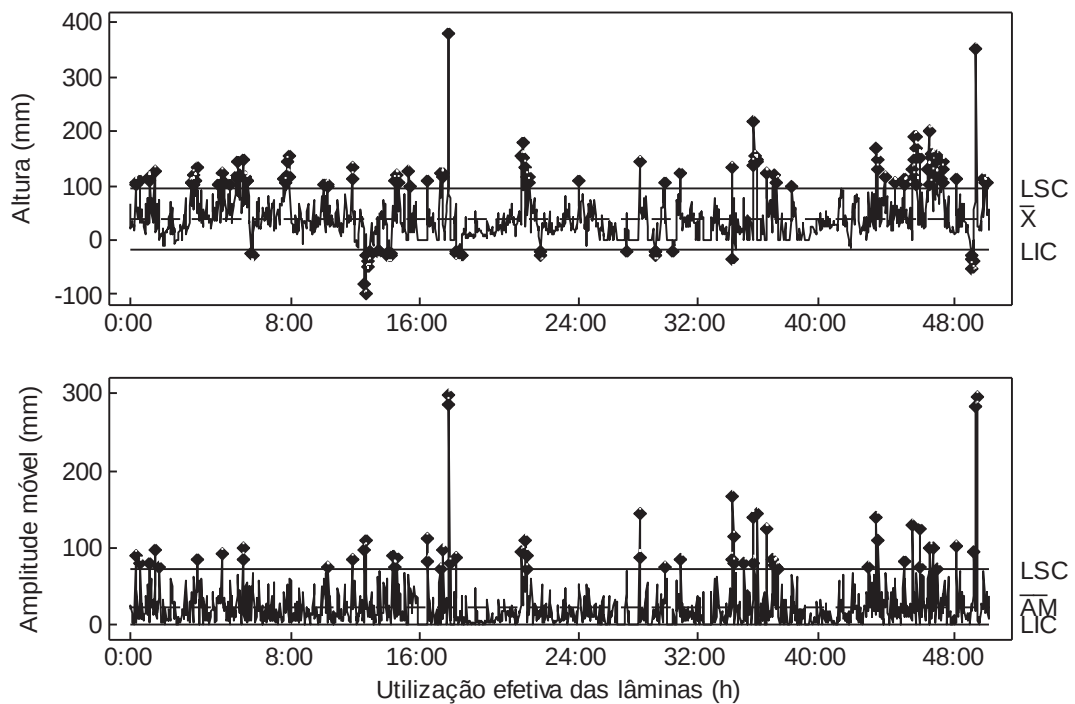


Figura 21. Carta de controle para altura de corte em função do tempo de utilização efetiva das facas.

Processos considerados fora de controle, segundo MILAN e FERNANDES (2002), necessitam de investigação detalhada para a redução da variabilidade, com aumento ou manutenção da qualidade e melhoria da confiabilidade e aceitação do produto ou processo.

Índice de danos

Na Figura 22 e na Tabela 15 são apresentados os resultados da análise da *Run Chart* para o índice de danos. Com base no resultado para o número de sequências de pontos crescentes e decrescentes (13) ser menor do que o esperado para este

comportamento (16,3), o valor p calculado para tendência no conjunto de dados foi igual a 0,05, o que pode indicar comportamento não aleatório.

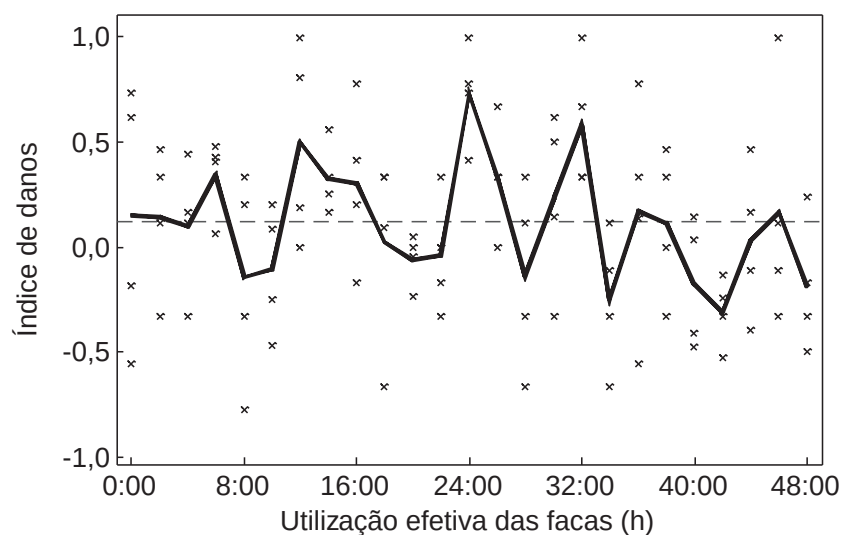


Figura 22. *Run Chart* para índice de danos na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Tabela 15. Parâmetros da *Run Chart* para índice de danos na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Número de sequências em torno da média:	14	Número de sequências crescentes e decrescentes:	13
Sequências esperadas:	13,5	Sequências esperadas:	16,3
Sequência mais longa:	4	Sequência mais longa:	4
Valor p para agrupamento:	0,584	Valor p para tendência:	0,050
Valor p para mistura:	0,416	Valor p para oscilação:	0,950

Para o índice de danos, cuja carta de controle é apresentada na Figura 23, somente um ponto ultrapassou o limite de controle para a amplitude móvel, devido à variação elevada entre duas observações subsequentes. Essa constatação é suficiente para classificar o processo como fora de controle, indicando que esta variação não é devido à variabilidade natural da operação, ou seja, indica um ponto de possível falha.

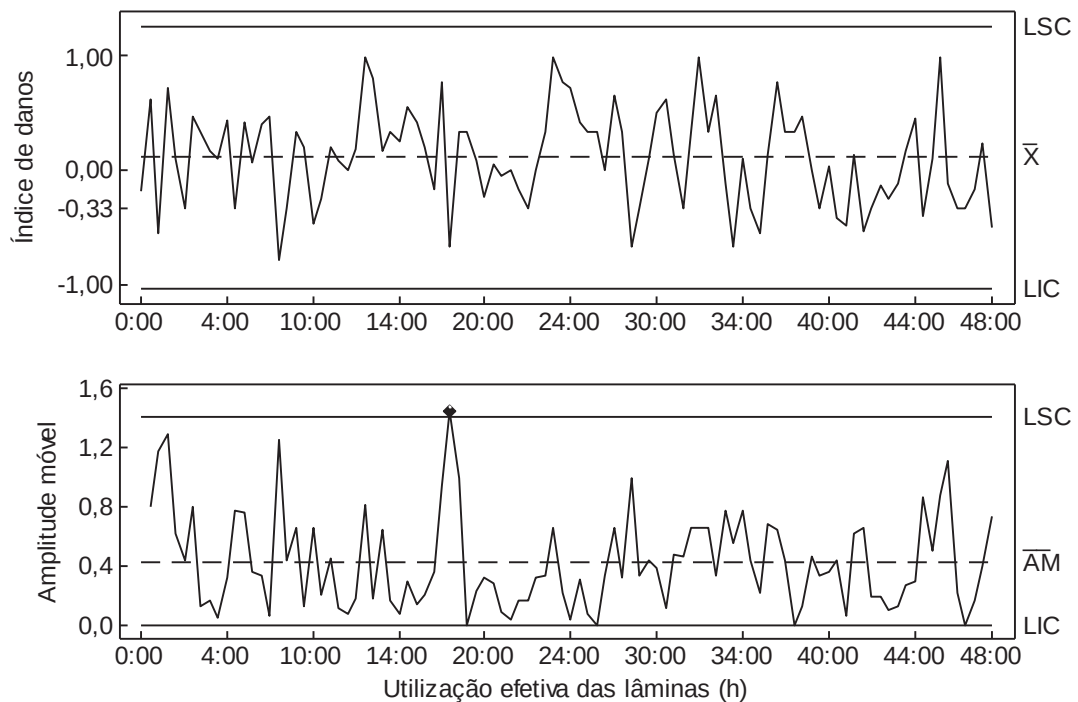


Figura 23. Carta de controle para índice de danos às soqueiras em função do tempo de utilização efetiva das facas.

Contudo, como o índice de danos para o processo de colheita apresentou somente um ponto fora dos limites de controle, este ponto foi excluído da base de dados e recalcularam-se os limites, gerando nova carta de controle para este indicador, conforme metodologia amparada por MONTGOMERY (2001), que afirma que a exclusão dos pontos equivale à identificação de causas especiais, mesmo que estas não tenham sido realmente identificadas e se constitui em procedimento comum em controle estatístico. Este procedimento é repetido até que todos os pontos estejam dentro dos limites de controle, caso necessário (ALENCAR et al., 2007b).

Assim, a carta de controle para o índice de danos é apresentada na Figura 24, recalculada com a exclusão do ponto que ultrapassou o limite de controle. Ao final, obtém-se um conjunto de observações sob controle garantindo a utilização dos limites obtidos, podendo-se proceder com a Análise de Capacidade para estes dados (ALENCAR et al., 2007a).

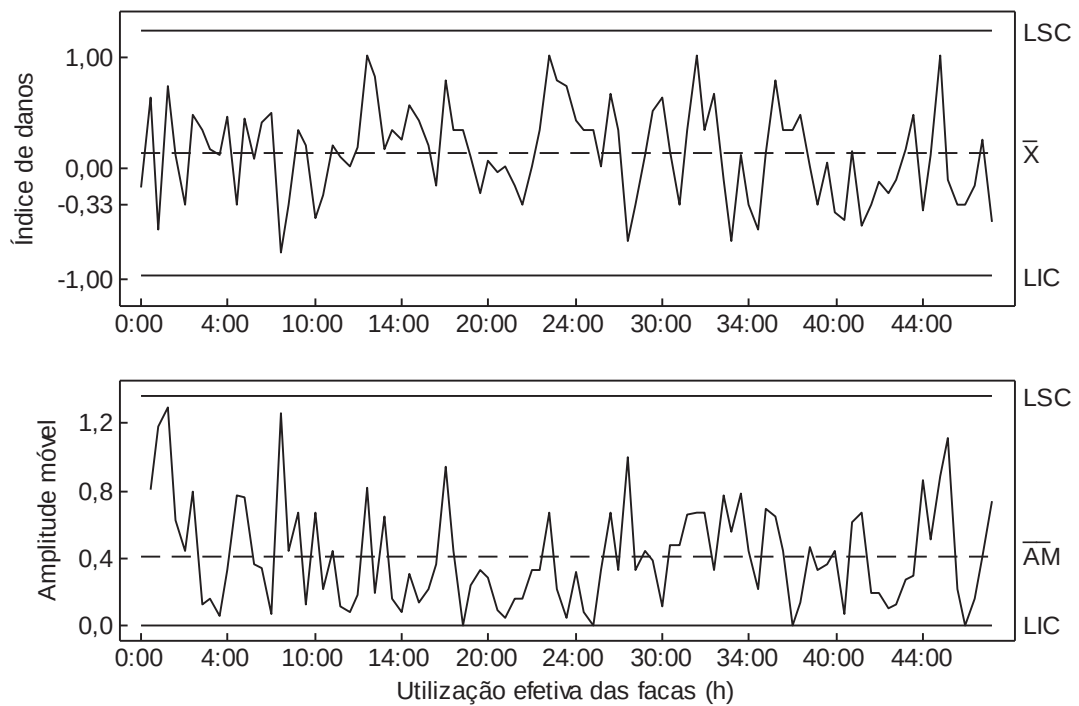


Figura 24. Carta de controle para índice de danos às soqueiras em função do tempo de utilização efetiva das facas, após exclusão dos pontos fora de controle.

A Análise de Capacidade (Figura 25 e Tabela 16) para o índice de danos à soqueira durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar, realizada com facas revestidas com carbeto de tungstênio foi aplicada, identificando-se que mais de 63% dos dados estão acima do limite superior de especificação, o que torna o processo incapaz de atingir a meta estabelecida sem que haja intervenções para a melhoria da qualidade.

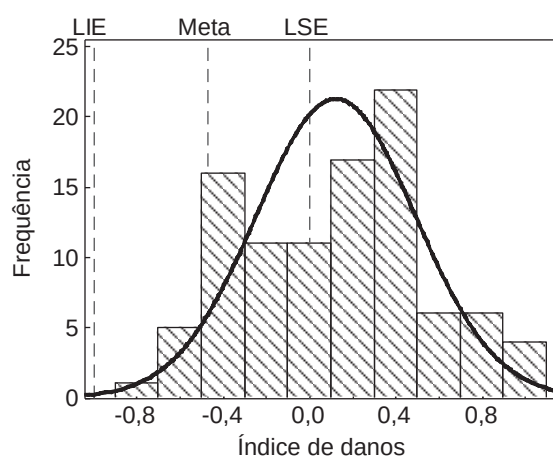


Figura 25. Análise de capacidade para o índice de danos, após exclusão dos pontos fora de controle.

Tabela 16. Análise de Capacidade do processo para índice de danos.

	Índice de danos
C_{pk}	-0,11
% abaixo do LIE	0,00
% acima do LSE	63,64
% dentro das especificações	36,36
Classificação (BONILLA, 1994)	Incapaz

C_{pk} : Índice de capacidade; LIE: Limite inferior especificado; LSE: Limite superior especificado.

Desgaste

O desgaste médio foi mensurado a cada oito horas de operação, em função da troca de turno de operadores, realizando-se a medição da massa das facas e da espessura da face cortante de corte de cada faca.

As facas demonstraram desgaste linear durante as 48 horas de utilização, com atenuação do desgaste a partir de 24 horas de uso, conforme pode ser visualizado na Figura 26.

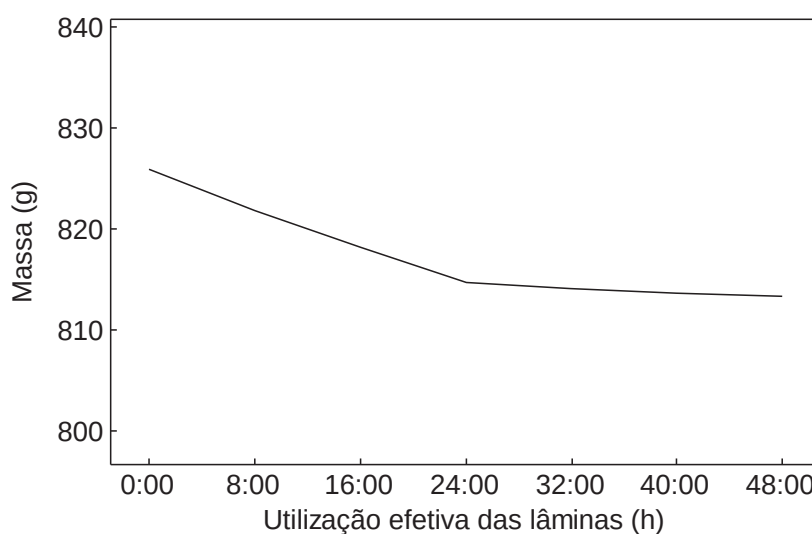


Figura 26. Massa das facas com revestimento de carbeto de tungstênio em função do tempo efetivo de utilização.

Este desgaste inicial das facas, mais acentuado, pode ser interpretado como a redução ocorrida no material do corpo da faca, que serve de suporte para o revestimento de carbeto de tungstênio. Assim, a partir do momento em que o revestimento apresentava maior proporção da espessura da borda cortante, o material da faca teve menos contato com o colmo e o solo, desgastando-se mais lentamente.

Com relação à espessura da face cortante (Figura 27), observou-se que esta reduziu sensivelmente durante as avaliações, atribuindo maior ação cortante às facas, porém, sem correlação estatística com a qualidade do corte, avaliada pelo índice de danos causados às soqueiras.

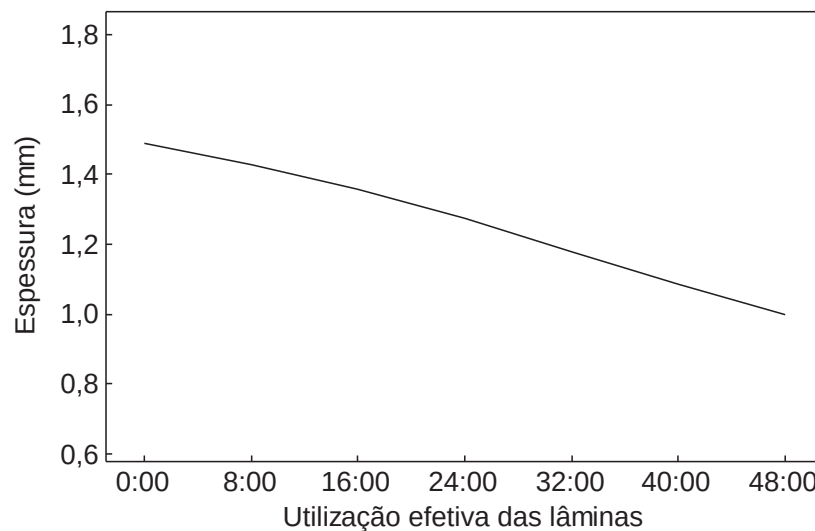


Figura 27. Espessura da face cortante das facas com revestimento de carbeto de tungstênio em função do tempo efetivo de utilização.

Propostas para melhoria do processo

Como se identificou que o processo de corte basal não está sob controle estatístico e, portanto, não possuía capacidade de atingir os limites aceitáveis para a operação, procedeu-se com a investigação das possíveis causas de variação que afetam o processo.

No diagrama de causa e efeito da Figura 28, foram elencadas as causas potenciais que podem influenciar a qualidade do corte mecanizado, utilizando-se o *brainstorming*, que é uma técnica que envolve discussão aberta e exposição de ideias, neste caso, realizada com a equipe de avaliação do processo.

Pode-se notar que diversos são os fatores que podem ter influenciado para este comportamento, como mão-de-obra, máquina, meio ambiente (sistematização da área e condição do solo) e matéria-prima (condições da cultura).

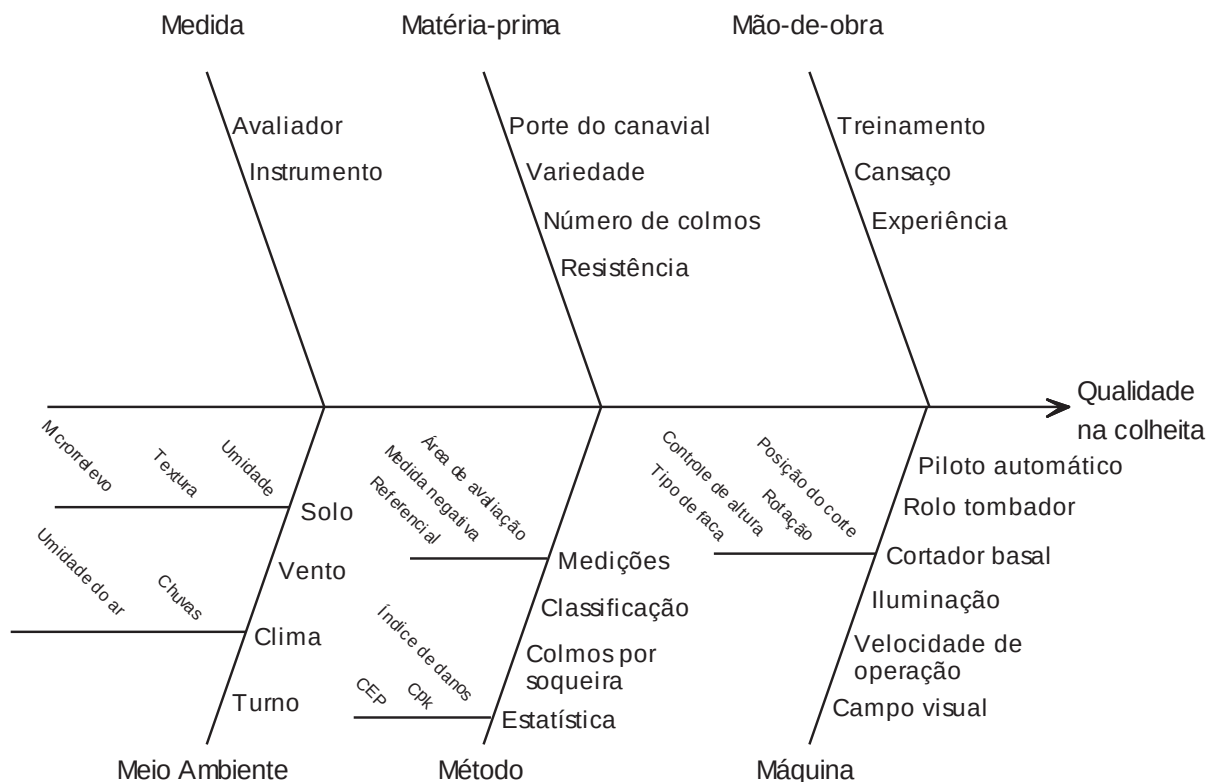


Figura 28. Diagrama de causa e efeito para investigação dos pontos de melhorias no processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

A partir da organização das ideias expostas num diagrama de causa e efeito, isolaram-se as que supostamente foram mais relevantes e medidas corretivas sobre estas foram propostas a partir deste ponto da avaliação. Sugeriu-se neste caso, a investigação da influência do microrrelevo do solo, avaliando-se as operações de preparo do solo e a sulcação, e também estudos relacionados a dispositivos para o controle de altura do corte basal. Já para o índice de danos pode-se investigar a metodologia proposta, classificação e estatística empregada, e principalmente o mecanismo de corte basal.

CONCLUSÕES

A altura de corte apresentou elevada variabilidade, o que pode acarretar em redução da qualidade da operação, desgaste prematuro das facas, arranquio de soqueiras e perdas na colheita.

A variação do índice de danos manteve-se praticamente estável durante o processo de colheita, porém, acima da meta estabelecida.

A perda de massa das facas foi decrescente, devido ao contato destas com o solo. A espessura da borda cortante reduziu com a utilização das facas, mesmo sem influenciar na melhoria da qualidade do corte, demonstrando que o revestimento aplicado mantém a afiação das facas.

IMPLICAÇÕES

A alta variabilidade e as observações visuais de campo permitiram inferir que, provavelmente melhores resultados devem ser obtidos quando da realização do preparo do solo e o plantio voltados à colheita mecanizada, melhorando o microrrelevo e facilitando o deslocamento uniforme e preciso da colhedora e do mecanismo de corte basal, para então possivelmente observar-se resultados com maiores índices qualitativos.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. **Gráficos**. Disponível em <<http://www.agritempo.gov.br/agroclima/plotpesq?uf=SP>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

ALENCAR, J. R. B.; LOPES, C. E.; SOUZA JR., M. B. Monitoramento do processo de compressão de comprimidos de captopril utilizando controle estatístico de processo. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 88, n. 2, p 89-97, 2007a.

ALENCAR, J. R. B.; LOPES, C. E.; SOUZA JR., M. B. Controle Estatístico de Processo Multivariado: aplicação ao monitoramento da produção de comprimidos de captopril. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 88, n. 4, p 200-205, 2007b.

BONILLA, J. A. **Qualidade total na agricultura**: fundamentos e aplicações. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade Total na Agricultura, 1994. 334 p.

BONILLA, J. A. **Métodos quantitativos para a qualidade total na agricultura**. Contagem: Littera Maciel, 1995. 250 p.

CAMPOS, C. M.; MILAN, M.; SIQUEIRA, L. F. F. Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 554-564, 2008.

DODSON, M. S. **Avaliação da influência de indicadores de qualidade no custo operacional de um sistema de produção de milho (Zea mays L.): estudo de caso de semeadura**. 1998. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), FCAV, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 1998.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FERNANDES, R. A. T.; MILAN, M.; PECHE FILHO, A. Gerenciamento da qualidade em operações mecanizadas de um sistema de produção de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 20, n. 3, p. 215-220, 2000.

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

LOPES, M. B.; LUNARDI FILHO, D.; PECHE FILHO, A.; COELHO, J. L. D.; MILAN, M. Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar. **Stab: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 13, n. 3, p. 26-30, 1995.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 2, p. 261-266, 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 4 ed. New York: John Wiley and Sons, 2001.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 3 ed. New York: John Wiley and Sons, 2003. 706 p.

REIS, G. N. **Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 89 f. Tese (Doutorado), FCAV, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2009.

RIPOLI, T. C. C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas**: ensaios & certificação. Piracicaba: Fundação de Estudos “Luiz de Queiroz”, 1996. p. 635-73.

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

SILVA, R. P.; CORRÊA, C. F.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 292-304, 2008.

SUGUISAWA, J. M. **Diagnóstico da condição tecnológica, sob a ótica da qualidade, das operações mecanizadas da cultura do trigo em sistema plantio direto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado), ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CAPÍTULO 4 – MODELO DE DISPOSITIVO PARA REDUÇÃO DO IMPACTO NO CORTE BASAL PARA COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – A partir das informações de qualidade da colheita, com a avaliação dos danos causados às soqueiras em função do corte inercial, este trabalho apresenta uma proposta para aperfeiçoamento dos órgãos ativos do mecanismo de corte basal. Assim, com base nas avaliações da qualidade do corte em colheita mecanizada, o objetivo do trabalho foi de projetar um dispositivo de acoplamento das facas aos discos que auxilie no corte dos colmos de cana-de-açúcar, realizado por deslizamento para reduzir o impacto inercial causado pelo movimento rotativo das facas do corte basal. O modelo proposto proporciona o corte dos colmos de cana-de-açúcar por deslizamento, pode ser utilizado em qualquer colhedora e diferentes tipos de faca para o corte basal. O projeto do dispositivo pode ser considerado de simples execução, por possuir apenas acionamentos mecânicos e peças de baixa complexidade.

PALAVRAS-CHAVE: Colheita mecanizada, danos, disco de corte, facas.

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

A primeira colhedora de cana-de-açúcar desenvolvida em 1890 utilizava um grande mecanismo de pêndulo para cortar os colmos próximos à base com remoção de folhas e ponteiros. Entretanto, não obteve sucesso. Desde então, KROES (1997) relata que diversas tentativas de projetar e desenvolver sistemas de corte surgiram, citando alguns exemplos como tesouras gigantes, serras rotativas, motosserras, lâminas, jatos de água, e até feixes de laser, e finaliza dizendo que a busca pelo sistema de corte ideal ainda continua.

Com a escassez de mão-de-obra nos anos 1940 e 1950 na Austrália, a indústria percebeu a necessidade de concentrar esforços na mecanização da operação de colheita (KROES, 1997).

Na Austrália, nos anos 1950, grande parte do carregamento de cana-de-açúcar após a realização do corte manual era feita por carregadores mecânicos (colheita semimecanizada) sendo de aproximadamente 100% em meados dos 1960. Inicialmente, as colhedoras de cana-de-açúcar inteira apresentavam resultados satisfatórios, entretanto, o desenvolvimento das colhedoras de cana-de-açúcar picada se mostrou mais promissor para as condições australianas, tornando-se comercialmente viáveis e atrativas aos produtores (KROES, 1997). Consequentemente, no final dos anos 1960, a colheita mecanizada já era predominante, com uso de colhedoras de cana-de-açúcar picada. O autor relata também que no ano de 1978 foram processados os últimos colmos colhidos de forma manual.

No caso do Brasil, a história das operações mecanizadas para a cultura da cana-de-açúcar é mais recente e menos acelerada. Na safra 2008/2009 no Brasil, apenas 37,1% das áreas de cana-de-açúcar foram colhidas mecanicamente. Na região Centro-Sul esta proporção sobe para 42,8% das áreas, o equivalente a 2,5 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO, 2011).

Com relação aos projetos de pesquisa para colheita, GUPTA et al. (1996) desenvolveram uma colhedora de cana-de-açúcar inteira, autopropelida utilizando um trator de rabiças, destinada a pequenos produtores de países em desenvolvimento. De

acordo com os testes do equipamento, obtiveram capacidade de campo média de $0,13 \text{ ha h}^{-1}$, com eficiência de 71%.

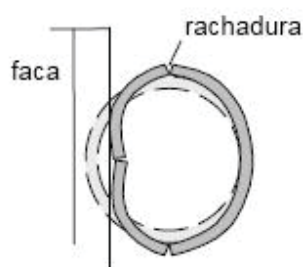
OLIVEIRA et al. (2005) projetaram um mecanismo de corte basal segmentado, com o objetivo de verificar a eficiência da varredura durante o corte, destacaram que a altura de corte foi a variável de maior influência no sistema proposto. As análises realizadas mostraram resultados promissores em termos de varredura e alimentação de colmos acamados sobre a superfície.

Outra proposta de mecanismo de corte basal para colhedoras de cana-de-açúcar foi apresentada por VOLPATO et al. (2005a; 2005b), como sistema de quatro barras para seguimento do microrrelevo do solo, de construção simples e estruturalmente robusto, com obtenção de bom desempenho para as condições menos exigentes, como velocidades inferiores a $1,8 \text{ m s}^{-1}$ e amplitude do microrrelevo do solo de $0,025 \text{ m}$.

GRAY et al. (2009) apresentaram suspensão pantográfica para o cortador basal de cana-de-açúcar a ser aplicada em sistema semimecanizado de colheita. Em testes realizados em caixas de solo com perfis senoidais entre 25 e 50 mm, puderam afirmar que o mecanismo projetado realizava o seguimento do microrrelevo de forma satisfatória com erro médio de 8 e 9 mm para velocidades da colhedora de $0,14 \text{ m s}^{-1}$ e $0,42 \text{ m s}^{-1}$.

Um grande problema da colheita mecanizada é o dano causado pelo mecanismo de corte basal aos colmos de cana-de-açúcar. Durante o corte não há apoio, sendo somente a inércia da planta que fornece resistência ao impacto das facas. Pressupõe-se que ocorra uma pré-compressão imposta à casca que resulta na quebra ou mesmo divisão do colmo, ocasionando os danos, como apresentado na Figura 29 (KROES, 1997).

É provável que esta pré-compressão esteja relacionada com a espessura da borda cortante das facas, em função da área de contato com o colmo. Assim, com o desgaste e aumento desta espessura, esta pré-compressão aumentaria, e consequentemente, os danos causados às soqueiras e colmos de cana-de-açúcar KROES (1997).



Fonte: KROES (1997).

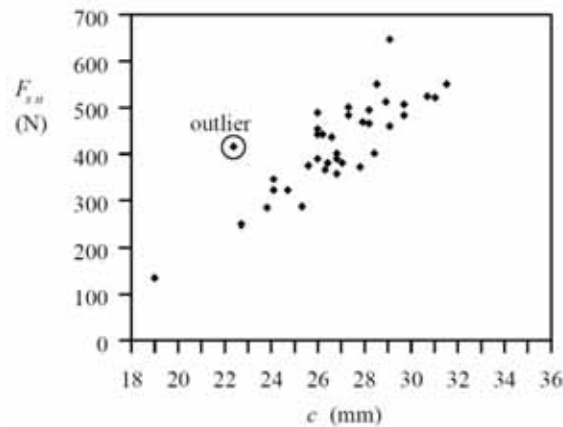
Figura 29. Representação do dano ocasionado pelo impacto da faca ao colmo de cana-de-açúcar.

A mínima energia e força aplicada para o corte de cana-de-açúcar, quantificada utilizando-se mecanismo tipo pêndulo, foi encontrada para facas com ângulo entre as faces cortantes de 25° (DAS; GUPTA, 1972 apud GUPTA et al., 1996).

Para o ângulo de 70° entre o plano de corte e o eixo longitudinal do colmo da cana-de-açúcar (ângulo de corte), PRASAD e GUPTA (1975) citados por GUPTA et al. (1996), encontraram as mínimas energia e força necessárias para realizar o corte por cisalhamento. A energia de corte diminuiu proporcionalmente com a altura de corte, enquanto que a força de corte foi ligeiramente superior para o corte realizado a aproximadamente 200 mm do nível do solo. A energia e a força aumentaram com o diâmetro do colmo, mas a energia e a força específica por área da seção transversal reduziu com o aumento do diâmetro.

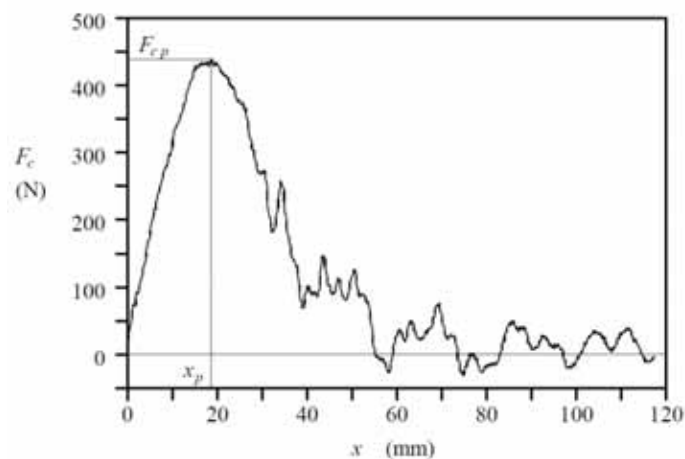
Estudos realizados por CHANG et al. (1982), SVERZUT (1982), FERRAZ (1987), MACIEL (1989), KROES (1997) e FILIPPINI FILHO et al (2004) também demonstram a preocupação em mensurar a resistência ao corte oferecida pela seção transversal dos colmos de cana-de-açúcar.

Em trabalho realizado por KROES (1997), a força necessária para a ruptura do colmo apresentou relação praticamente linear com o diâmetro, como pode ser vista no gráfico da Figura 30. O autor também determinou a força demandada para realizar o corte da cana-de-açúcar (Figura 31), em que a distância (x) representa a posição da faca no instante do corte através do plano diametral do colmo.



Fonte: KROES (1997).

Figura 30. Força de ruptura (F) em função do diâmetro (c) do colmo de cana-de-açúcar.



Fonte: KROES (1997).

Figura 31. Força de ruptura (F) durante o corte em relação à penetração da faca através do diâmetro (x) do colmo de cana-de-açúcar.

A força máxima registrada por KROES (1997) para o corte do colmo, cujo diâmetro era de 27,8 mm foi de 439 N (Figura 31). Segundo o autor, esta força corresponde ao impacto da faca na cana-de-açúcar, sendo os demais picos registrados no gráfico relativos à força de atrito entre a superfície inferior da faca e a soqueira.

Em trabalho semelhante, realizado por FILIPPINI FILHO et. al. (2004), as forças máximas de corte registradas também oscilaram entre 300 e 500 N.

A interação com o solo promove o desgaste das facas e prejudica o desempenho de corte. KROES (1997) evidencia e classifica os tipos de danos provocados pelo disco cortador basal. Estes provocam perdas pelos cortes múltiplos e pelas trincas no colmo inferior, aumentando a probabilidade desse rebolo ser perdido no extrator primário. As facas gastas propagam danos à soqueira e podem reduzir a produção da safra seguinte, por aumentar sua exposição ao ataque de pragas e doenças ou por destruir ou remover as gemas responsáveis pela brotação da soqueira (GRAY, 2008).

GUPTA e ODUORI (1992 apud GRAY, 2008) estudando as velocidades de rotação e ângulos de afiação das facas concluíram que a melhor combinação em termos de qualidade de corte ocorre com velocidade angular de 800 rpm, ângulo oblíquo de 35° e ângulo de inclinação de 27°. Os autores afirmam também que abaixo de 600 rpm tendem a quebrar os colmos em sua base e maiores que 800 rpm facilitam a realização do corte.

Espera-se que o dispositivo que reduza substancialmente este impacto, reduza a porcentagem de danos causados aos colmos, com aumento do nível de qualidade da operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua.

Considerando as informações da literatura e com base nos trabalhos realizados sobre danos às soqueiras, o objetivo deste trabalho foi propor um modelo de dispositivo que auxilie no corte dos colmos de cana-de-açúcar, realizado por deslizamento, para reduzir o impacto inercial causado pelo movimento rotativo das facas do corte basal.

DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Considerações preliminares

Em função das constatações obtidas na avaliação de qualidade do corte e, considerando que os mecanismos do corte basal que proporcionam inclinação à face cortante das facas em relação à linha radial do disco apresentaram qualidade de corte superior, avaliado pelo índice de danos, propôs-se um dispositivo de amortecimento do impacto no momento do corte e que realize o corte dos colmos de cana-de-açúcar por deslizamento.

Princípios considerados no desenvolvimento do dispositivo:

- Minimizar os danos causados aos colmos e às soqueiras em função do impacto excessivo durante o corte;
- Evitar quebra das facas por impacto em obstáculos que oferecem resistência maior do que os colmos de cana-de-açúcar;
- Reduzir a demanda de força e energia necessária para realizar o corte basal;
- Evitar contaminação do material colhido por impurezas minerais;
- Realizar o corte dos colmos de cana-de-açúcar por deslizamento das facas em relação aos colmos, e não por impacto, reduzindo a possibilidade de danificar os colmos e soqueiras;
- Ser adaptável aos mecanismos de corte basal existentes sem modificações complexas;
- Projetar um dispositivo de simples acionamento e de fácil exequibilidade para atender aos princípios considerados.

O projeto do dispositivo de redução de impacto nos colmos durante o corte basal foi realizado utilizando-se programa de desenho assistido por computador (CAD) para desenho mecânico Autodesk® Inventor®.

PROPOSTA DO MODELO

Descrição geral

O dispositivo proposto foi projetado para proporcionar às facas do mecanismo de corte basal um grau de liberdade no sentido de seu plano de ação, com a finalidade de realizar o amortecimento do impacto gerado no momento do corte dos colmos de cana-de-açúcar durante a colheita mecanizada.

A vista geral do dispositivo montado sobre os discos do corte basal é apresentada na Figura 32. Na Figura 33 estão representadas as vistas lateral e superior do dispositivo, que foi desenvolvido para ser instalado em discos para o corte basal com adaptação simples para fixação e passagem do eixo de acionamento. O dispositivo foi dimensionado para ser instalado para cada faca do corte basal, fixadas a este por dois parafusos na parte posterior do eixo, como pode ser visto na Figura 34.

O princípio de acionamento do dispositivo consiste na transmissão de parte da força de reação do colmo de cana-de-açúcar à mola de compressão, com deslocamento ortogonal ao plano de ação das facas, proporcionando o amortecimento do impacto gerado no momento do corte, porém, oferecendo resistência suficiente para realizar o corte por deslizamento, com as facas adquirindo angulação em relação à radial do disco.

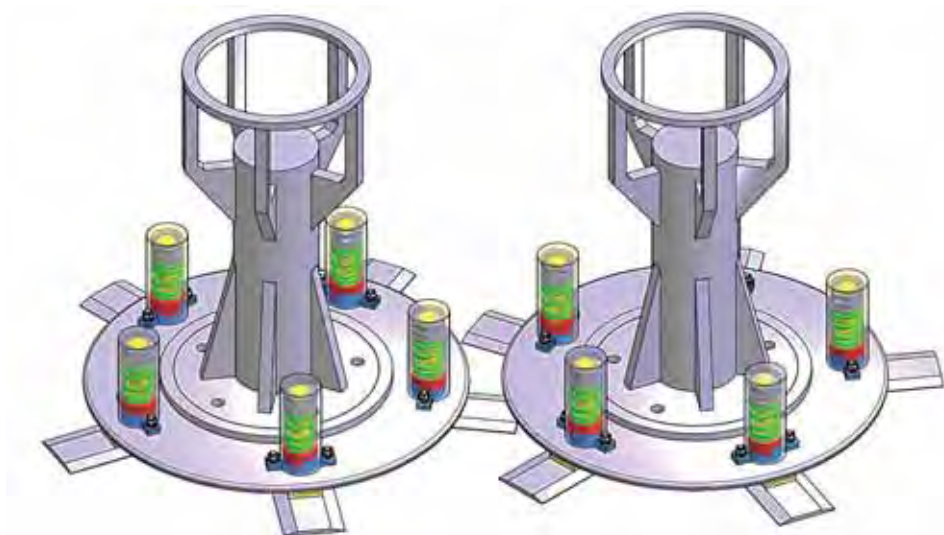


Figura 32. Vista geral do dispositivo.

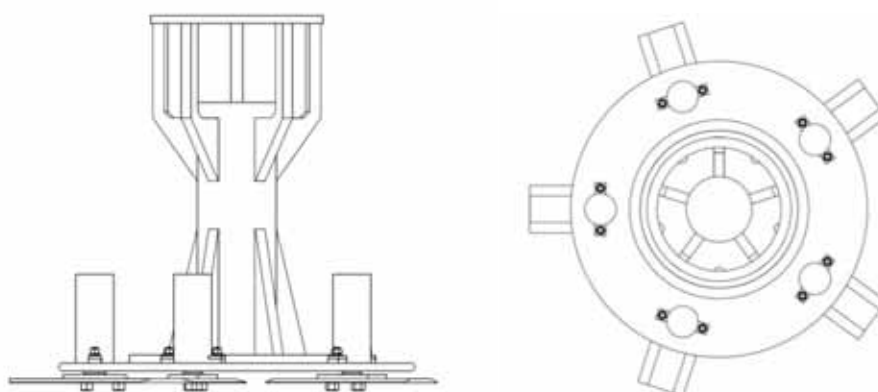


Figura 33. Vista lateral e superior do dispositivo.

Descrição dos componentes

As partes constituintes do modelo, numeradas nas Figuras 34 e 35 e citados entre parênteses no texto a seguir são apresentadas com descrição resumida das funções na Tabela 17.

O modelo visualizado em corte na Figura 34 e vista explodida na Figura 35, a ser adaptado ao disco (1) consiste de um furo correspondente a cada faca (2), para a instalação de uma bucha de desgaste (4) e do eixo de acionamento (3) do dispositivo. E, na parte superior do disco dois parafusos para fixação da capa (6) do dispositivo que protege o sistema de acionamento.

A fixação das facas é realizada em anteparo preso à extremidade do eixo (3) que possui duas hastes roscadas para fixar as facas, ao invés dos parafusos utilizados nos discos convencionais, como pode ser visto na Figura 34.

Os acionadores do dispositivo são dois corpos cilíndricos, com furo central para passagem do eixo, com uma das superfícies em rampa e a outra plana, ambos feitos de material com alta resistência à abrasão e baixo coeficiente de atrito. O primeiro deles, o acionador fixo (5) é preso ao disco juntamente com a capa (6), como descrito anteriormente. O acionador móvel (9) é solidário ao eixo (3) por meio de ranhuras em seu orifício interno e no eixo.

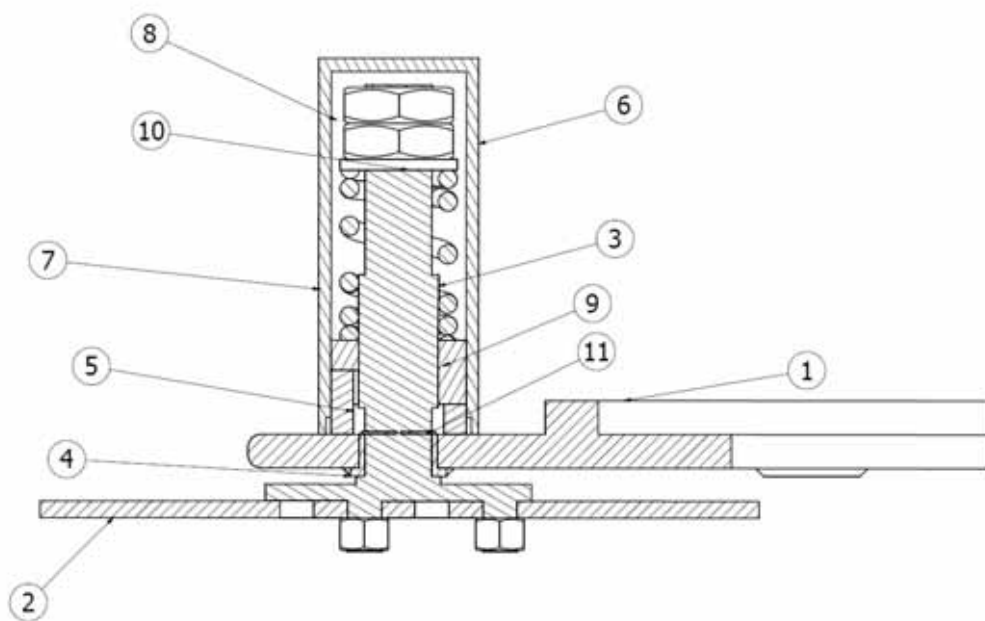


Figura 34. Vista esquemática em corte do dispositivo.

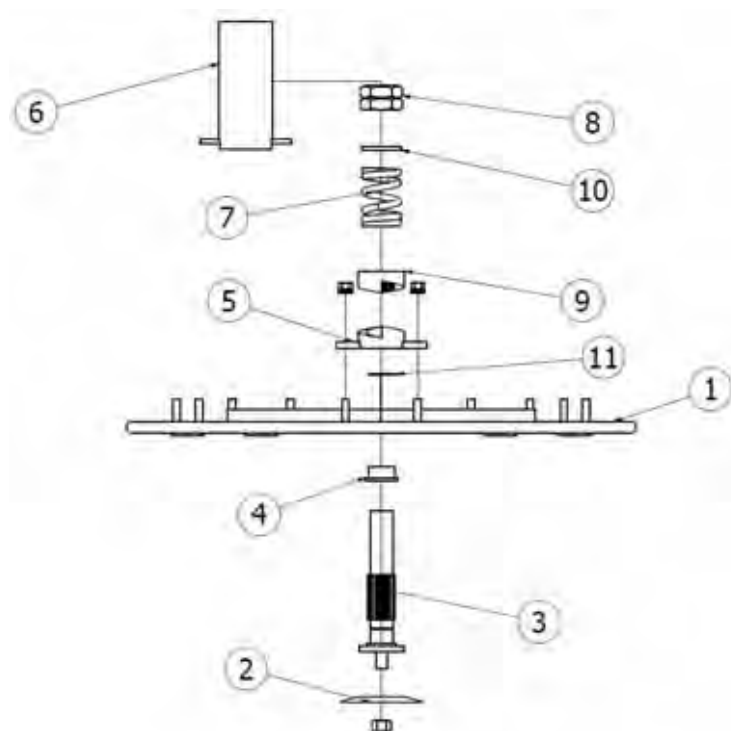


Figura 35. Vista explodida do dispositivo.

A mola de compressão (7) será disposta sobre o acionador móvel (9) com regulagem de pré-carga feita por porca e contra-porca (8) e arruela (10) posicionadas na outra extremidade do eixo (3).

O dispositivo possui também anel de pressão (11) instalado no eixo (3) para evitar o deslocamento vertical do sistema interno e ainda uma capa externa (6) para proteger o sistema de acionamento dispositivo.

Tabela 17. Partes constituintes do dispositivo.

Número (Figuras 34 e 35)	Peça	Função
1	Disco	Suporte do dispositivo para redução de impacto no corte basal.
2	Faca	Corte dos colmos de cana-de-açúcar.
3	Eixo	Realizar movimento circular para amortecimento do impacto das facas (2) no colmo de cana-de-açúcar; Suporte das facas (2) do corte basal.
4	Bucha de desgaste	Evitar o desgaste do eixo (3) pelo contato direto com o disco (1).
5	Acionador fixo	Auxiliar no deslocamento vertical do acionador móvel (9) que comprime a mola (7) proporcionando movimento circular à faca (2) no seu plano de ação.
6	Capa externa	Proteger o sistema interno do dispositivo
7	Mola de compressão	Permitir o movimento circular das facas (2); Oferecer resistência suficiente para realizar o corte dos colmos de cana-de-açúcar.
8	Porcas	Permitir a regulagem da pressão na mola (7); Realizar o travamento do sistema.
9	Acionador móvel	Transmitir o movimento circular da faca (2) para a mola (7) em movimento longitudinal no eixo de ação apoiado no acionador fixo (5).
10	Arruela	Apoio da mola (7).
11	Anel de pressão	Evitar o deslocamento vertical do sistema

Ação do dispositivo

A força de reação do colmo de cana-de-açúcar aplicada às facas (2) no momento do impacto para o corte inercial é transmitida ao eixo (3), solidário ao acionador móvel (9) por meio de ranhuras. O torque gerado no eixo é transmitido ao acionador móvel (9) que está em contato com o acionador fixo (5), cujo desenho em rampas sobrepostas transmite o movimento de torção para movimento de deslocamento linear, pressionando a mola de compressão (7).

Inicialmente, a resistência oferecida pela mola proporcionará força de reação inferior à força necessária para realizar o corte do colmo, com base no apresentado por KROES (1997) na Figura 31 aproximadamente 430 N, correspondendo ao F' do gráfico da Figura 36.

No início do corte, quando o impacto ocorre e a força aplicada for próxima a F' , a mola será comprimida até x' , proporcionando inclinação às facas e, conseqüentemente ocorre o corte por deslizamento. No momento em que a força aplicada passa a ser menor que F' , a força de reação da mola faz com que as facas retornem às suas posições iniciais.

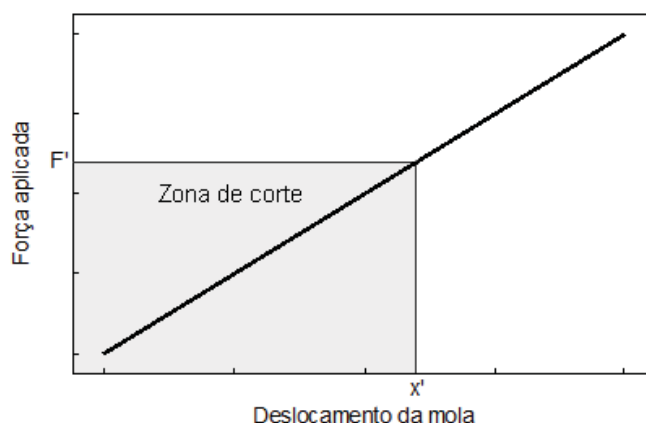


Figura 36. Deslocamento da mola em função da força aplicada.

A zona de corte da Figura 36 corresponde ao intervalo de deslocamento da mola e das forças de reação do colmo durante o corte. Mesmo que a força aplicada seja superior a F' , o dispositivo continuará atuando. No caso dessa força ser

excessivamente superior, a faca terá deslocamento de aproximadamente 90° enquanto a força estiver sendo aplicada, no caso de atingir uma pedra, por exemplo, e cessada essa força, com retorno à posição original, sem que ocorram quebras ou desgaste prematuro das facas.

O dispositivo também possui sistema de regulação da pressão de pré-carga sobre a mola, que determinará qual a força inicial necessária para haver compressão vertical da mola, e, conseqüentemente, angulação das facas.

Na Figura 38 pode ser visualizado o dispositivo em posição acionada, representando uma força aplicada à faca.

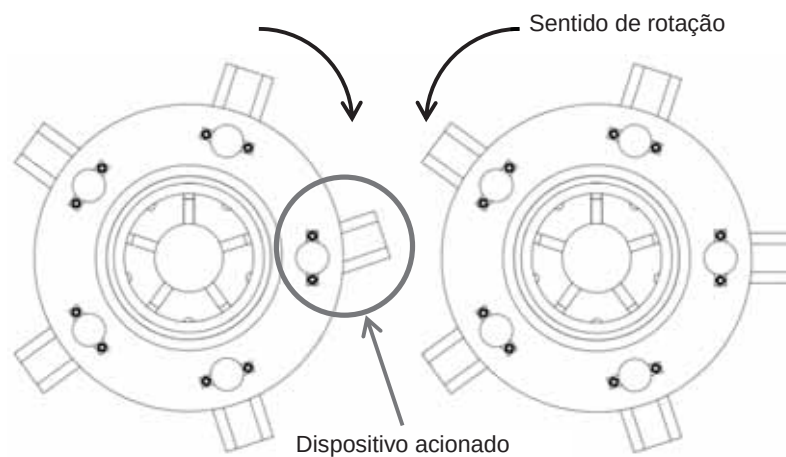


Figura 37. Representação do acionamento do dispositivo.

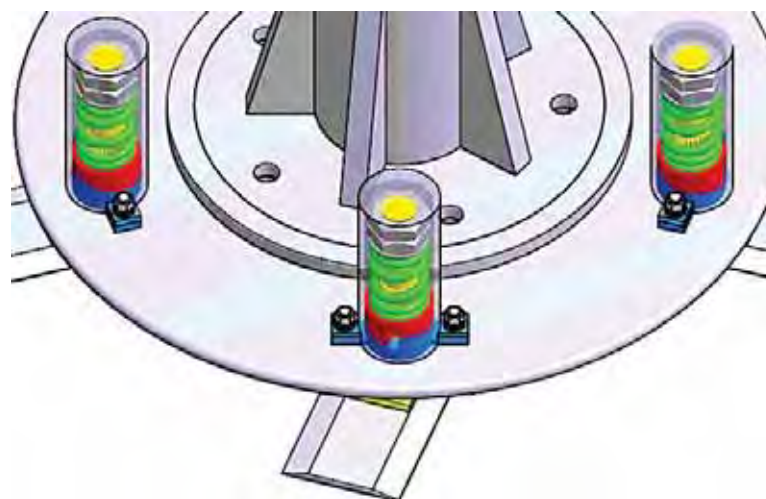


Figura 38. Detalhe do acionamento do dispositivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de dispositivo apresentado proporciona o corte por deslizamento dos colmos de cana-de-açúcar, com o intuito de reduzir os danos causados pelo impacto no corte basal em colheita mecanizada.

O modelo pode ser acoplado a qualquer mecanismo de corte basal com discos rotativos das colhedoras atuais e utilizar qualquer tipo de faca.

O projeto do dispositivo pode ser considerado de simples execução, por possuir apenas acionamentos mecânicos e peças de baixa complexidade.

IMPLICAÇÕES

O modelo apresentado do dispositivo de redução de impacto encontra-se em processo de avaliação de patenteabilidade. Sua aplicação tem foco na redução dos danos causados aos colmos e soqueiras de cana-de-açúcar, e associado a outras técnicas, tem entre outros objetivos, aumentar a longevidade do canavial.

Contudo, ressalta-se a necessidade de realizar a simulação e construção do protótipo para verificar a demanda de energia durante o corte com a aplicação do dispositivo.

Sugere-se para trabalhos futuros, realizar a avaliação comparativa da qualidade do corte do dispositivo com os mecanismos atuais, com outros modelos e também com o sistema de corte manual.

REFERÊNCIAS

CHANG, S. S.; MAZIERO, J. V. G.; BERNARDI, J. A. Medição, com pêndulo duplo, da resistência ao corte do colmo de cana-de-açúcar, **Bragantia**, v. 41, p. 11-20, 1982.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil**: Edição para a safra 2008/2009. Brasília: Conab, 2010. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/perfil_cana.pdf>. Acesso em: 07 out. 2011.

FERRAZ, A. C. O. **Propriedades mecânicas do internódio da cana-de-açúcar: uma contribuição metodológica**. 1987. 118 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1987.

FILIPPINI FILHO, G.; RODRIGUES, D. V. M.; BRAUNBECK, O. A. Força e energia necessária para o corte inercial da cana-de-açúcar com facas oscilantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro, SP. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

GRAY, G. R. **Metodologia de projeto de suspensão pantográfica para corte de base de cana-de-açúcar**. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

GRAY, G. R.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Suspensão pantográfica para corte de base de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 766-771, 2009.

GUPTA, C. P.; LWIN, L.; KIATIWAT, T. Development of a self-propelled single-axle sugarcane harvester. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 427-434, 1996.

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

MACIEL, A. J. S. **Estudo do corte do colmo da cana-de-açúcar, através de serras circulares**. 1989. 134 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

OLIVEIRA, C. A. A.; BRAUNBECK, O. A.; VOLPATO C. E. S. Simulação da varredura da superfície por um cortador de base segmentado. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 774-782, 2005.

SVERZUT, C. B. **Estudos sobre propriedades mecânicas do colmo da cana-de-açúcar**. 1982. 85 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1982.

VOLPATO, C. E. S.; BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, C. A. A. Modelo dinâmico de simulação e otimização da força normal de reação do solo para um mecanismo de corte basal. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 436-446, 2005a.

VOLPATO, C. E. S.; BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, C. A. A.; SANTOS, A. P. Projeto de um cortador de base para colhedora de cana-de-açúcar utilizando otimização matemática. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 758-767, 2005b.