ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

Abner Porfirio Rodrigues
Clayton José Lopes Freitas
Felipe Antônio Félix Dolci
José Luis Meleiro de Alencar
Liniker Alves Botão dos Santos
Matheus Pereira de Jesus

ANÁLISE DAS PERDAS DE MATÉRIA-PRIMA NA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: INFLUÊNCIA DA REGULAGEM E OPERAÇÃO DO EXTRATOR PRIMÁRIO

Fernandópolis
2025

Abner Porfirio Rodrigues
Clayton José Lopes Freitas
Felipe Antônio Félix Dolci
José Luis Meleiro de Alencar
Liniker Alves Botão dos Santos
Matheus Pereira de Jesus

ANÁLISE DAS PERDAS DE MATÉRIA-PRIMA NA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: INFLUÊNCIA DA REGULAGEM E OPERAÇÃO DO EXTRATOR PRIMÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em Manutenção de Máquinas Pesadas no Eixo Tecnológico de Controle e Processos Industriais, à Escola Técnica Estadual Professo Armando José Farinazzo, sob orientação do Professor Marcos Antônio Assís

Fernandópolis
2025

Abner Porfirio Rodrigues
Clayton José Lopes Freitas
Felipe Antônio Félix Dolci
José Luis Meleiro de Alencar
Liniker Alves Botão dos Santos
Matheus Pereira de Jesus

ANÁLISE DAS PERDAS DE MATÉRIA-PRIMA NA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: INFLUÊNCIA DA REGULAGEM E OPERAÇÃO DO EXTRATOR PRIMÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em Manutenção de Máquinas Pesadas no Eixo Tecnológico de Controle e Processos Industriais, à Escola Técnica Estadual Professo Armando José Farinazzo, sob orientação do Professor Marcos Antônio Assís

Examinadores:

Alex Tomas Henrique de Souza

André Zagato Gomes

Marcos Antonio de Assis

Fernandópolis
2025

DEDICATÓRIA

Agradecemos a Jesus Cristo por ter nos dado esta grande oportunidade e por nos dar forças para podermos estar finalizando este curso. Aos nossos familiares por nos apoiarem e sempre e serem nossa principal base para que pudéssemos nos manter e concluir esta formação. E aos amigos que tornaram o ambiente de sala de aula bom pois manter a sanidade foi fundamental

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a escola pela oportunidade de estarmos aqui presentes neste curso. Aos colegas de classe que estiveram presente durante essa jornada transmitindo seus conhecimentos abrindo nossas mentes e nos trazendo novas descobertas. Aos integrantes deste grupo que com êxito se mostraram presentes e que independente de seus compromissos deram total atenção a este trabalho. Aos professores que nos acompanharam durante o curso nos passando seu exímio conhecimento. Ao nosso querido orientador deste trabalho Marcos Antonio Assis, que foi fundamental para nossa formação como técnicos. A banca avaliadora por estar nos prestigiando nesta apresentação pois todos presentes são ótimos profissionais da área cujo admiramos muito.

EPÍGRAFE

“As verdadeiras recompensas são sempre proporcionais ao esforço e aos sacríficos feitos”

Nikola Tesla

ANÁLISE DE PERDAS EM DECORRÊNCIA DA REGULAGEM DO EXTRATOR PRIMÁRIO E OPERAÇÃO

Abner Porfirio Rodrigues
Clayton José Lopes Freitas
Felipe Antônio Félix Dolci
José Luis Meleiro de Alencar
Liniker Alves Botão dos Santos
Matheus Pereira de Jesus

RESUMO: Este trabalho investigou as perdas de matéria-prima na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, com ênfase na influência da regulagem e operação do extrator primário das colhedoras. Por meio de revisão bibliográfica, análise de dados experimentais e estudo comparativo de diferentes combinações de velocidade de deslocamento e rotação do extrator, observou-se que as perdas — especialmente de estilhaços e toletes — estão diretamente relacionadas aos parâmetros operacionais adotados. Resultados demonstraram que a rotação elevada do extrator, embora aumente a eficiência da limpeza, intensifica o desperdício de matéria-prima, enquanto combinações equilibradas de velocidade e rotação minimizam as perdas. O estudo também destacou a importância de inspeções regulares, manutenção preventiva e registros padronizados para assegurar o bom desempenho das máquinas. Conclui-se que a gestão criteriosa desses fatores é essencial para otimizar a colheita mecanizada, reduzir custos e promover a sustentabilidade no setor sucroenergético.

Palavras-chave: Colheita mecanizada; Cana-de-açúcar; Extrator primário; Perdas agrícolas; Eficiência operacional.

ABSTRACT: This study investigated raw material losses in mechanized sugarcane harvesting, focusing on the influence of adjustment and operation of the harvester's primary extractor. Through bibliographic review, analysis of experimental data, and comparative study of different combinations of travel speed and extractor rotation, it was found that losses — especially of chips and billets — are directly linked to operational parameters. Results showed that higher extractor rotation, while increasing cleaning efficiency, also intensifies raw material waste, whereas balanced combinations of speed and rotation minimize losses. The research also highlighted the importance of regular inspections, preventive maintenance, and standardized record-keeping to ensure optimal machine performance. It is concluded that careful management of these factors is essential for optimizing mechanized harvesting, reducing operational costs, and promoting sustainability in the sugar-energy sector.

Keywords: Mechanized harvesting; Sugarcane; Primary extractor; Agricultural losses; Operational efficiency.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar, passou por uma grande transformação nos métodos de colheita a partir da promulgação do Decreto de Lei nº 11.241/2002 do Estado de São Paulo, que proibiu a queima da cana-de-açúcar antes da colheita. Essa legislação impulsionou a adoção da colheita mecanizada em substituição à colheita manual. As colhedoras de cana-de-açúcar apresentam vantagens significativas em relação ao método tradicional, tanto em termos produtivos quanto financeiros e de segurança, pois reduzem o número de trabalhadores necessários, aumentam a eficiência e promovem mais segurança para o operador (TESTA, J. V. P., 2014).

Apesar dos avanços proporcionados pela mecanização, são comuns as perdas de produção, seja pela perda de matéria-prima ou pela contaminação por material estranho. Essas perdas podem ocorrer tanto na forma de sulcos inteiros ou fragmentos de cana, quanto na perda de caldo e estilhaços durante o corte. Além disso, a presença de matéria estranha — como a palha resultante do próprio processo de colheita — compromete a qualidade e aumenta o volume processado desnecessariamente, sem agregar valor à produção de açúcar ou álcool.

O funcionamento adequado das colhedoras depende, em grande parte, do sistema hidráulico, uma vez que a maioria dos componentes é acionada por motores hidráulicos. O fluido hidráulico é responsável por transmitir pressão e garantir o movimento do sistema, além de lubrificar e reduzir o atrito entre as peças (MATTJIE e RISTOF, 2013). Segundo os autores, o sistema hidráulico é fundamental para a operação da máquina, sendo composto por uma série de elementos, como bombas, válvulas, atuadores rotativos e lineares, filtros, linhas e conexões — todos sujeitos a atrito e variações de pressão.

Um dos principais fatores de perda de matéria-prima nas colhedoras está relacionado ao funcionamento inadequado do extrator primário, especialmente devido à sua regulagem. Entre todos os componentes, o extrator primário destaca-se por ser responsável por grande parte das perdas, já que trabalha com diferentes velocidades angulares. Quando a rotação está acima do ideal, pequenas partes da cana que saem do picador podem ser capturadas pelo extrator primário e descartadas, aumentando o desperdício.

Diante desse cenário, o objetivo do presente trabalho é analisar o desempenho do extrator primário das colhedoras de cana-de-açúcar, com ênfase na relação entre regulagem do sistema e operação, por meio de uma revisão bibliográfica crítica, buscando identificar e propor melhorias capazes de reduzir as perdas de matéria-prima durante a colheita mecanizada.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Em 2012, foi promulgada a Lei Federal nº 12.651/2012, que instituiu o novo Código Florestal. Conforme o artigo 38, essa legislação proibiu o uso do fogo em vegetação, salvo em três situações específicas: quando a peculiaridade do local justifica o emprego do fogo, em unidades de conservação onde a ocorrência de incêndios é natural, e para atividades de pesquisa científica. Em todos esses casos, a utilização do fogo depende de autorização prévia do órgão ambiental competente do Sisnama (Brasil, 2012).

Para atender a essa exigência legal e acompanhar a crescente preocupação ambiental do mercado mundial, tornou-se necessário o uso de máquinas colhedoras capazes de realizar o corte da cana-de-açúcar sem a necessidade da queima prévia, promovendo assim práticas agrícolas mais sustentáveis (Voltarelli et al., 2015).

2.1.1. Funcionamento geral da máquina

Atualmente, no Brasil, utilizam-se colhedoras de cana automotrizes, responsáveis por realizar todo o processo de corte, limpeza e carregamento da cana-de-açúcar. Para garantir o funcionamento adequado, a máquina deve ser corretamente alinhada com uma fileira de cana, iniciando então o seu deslocamento e operação. Durante esse percurso, a colhedora executa desde o corte basal dos colmos até o carregamento da matéria-prima nos caminhões, que posteriormente transportam a cana até a indústria para processamento (Neves, 2003).

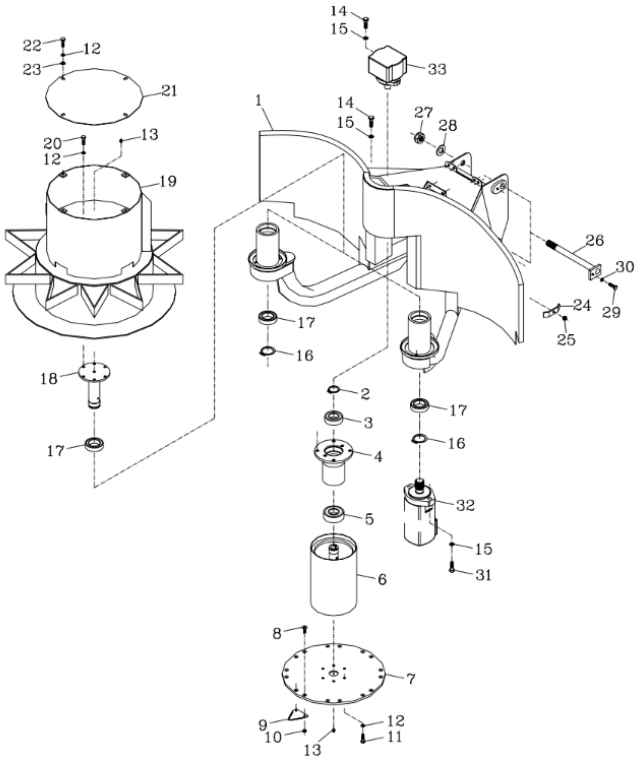
2.1.2. Principais componentes e sistemas

As colhedoras de cana são compostas por diversos sistemas responsáveis por etapas que vão desde o corte até o descarregamento da cana no veículo de transporte, garantindo que a matéria-prima seja levada até a indústria para ser processada e transformada em açúcar ou álcool (Testa, 2016). Em sua maioria, esses sistemas são acionados por motores hidráulicos. Entre os principais componentes que integram esse processo, destacam-se aqueles descritos a seguir.

2.1.2.1. Cortador de pontas

Sua principal função é realizar o corte dos ponteiros da cana-de-açúcar, que não apresentam teor significativo de sacarose e, por isso, são descartados pela indústria sucroalcooleira, uma vez que não contribuem para a produção de açúcar ou álcool (Silva, 2022). A Figura 1, extraída do Catálogo de Reposição da John Deere (2006), ilustra em detalhes a estrutura do cortador de pontas utilizado nesse processo.

Figura 1. Vista explodida do cortador de pontas.



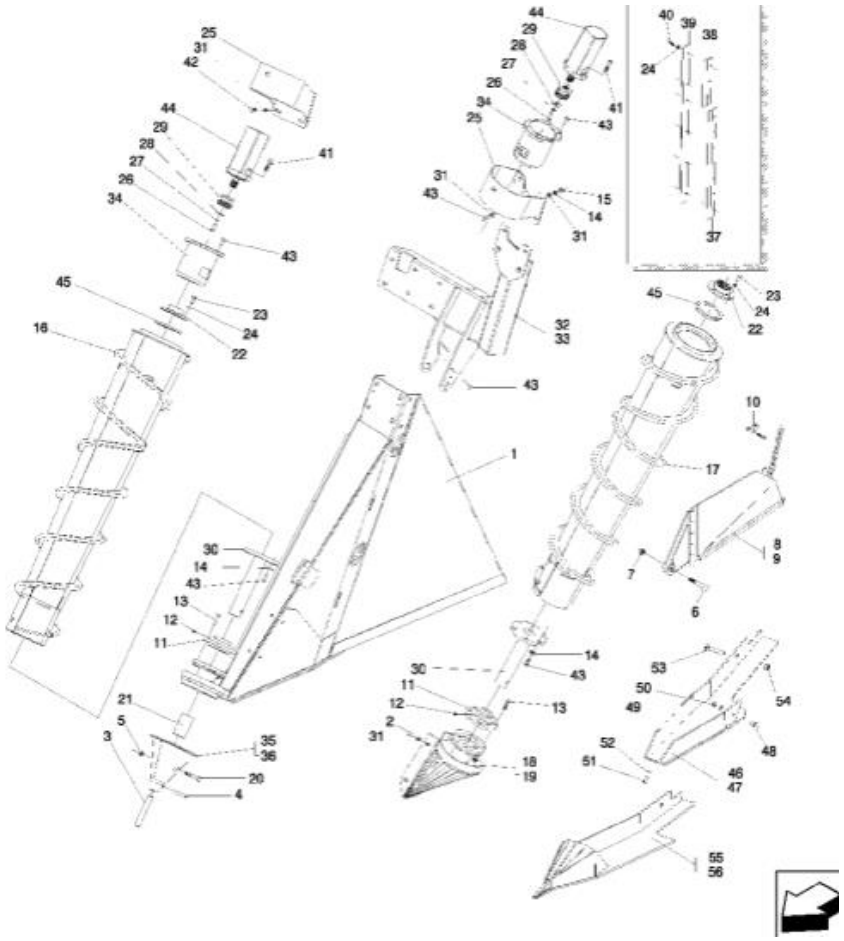
Fonte: (John Deere, 2006).

O cortador de pontas é composto, principalmente, por um tambor central onde estão instaladas as facas responsáveis pelo corte dos ponteiros. Conta com dois tambores laterais que direcionam a folhagem cortada para as extremidades, evitando a contaminação da matéria-prima. Esses componentes correspondem, respectivamente, aos itens número 6 e número 19 destacados na Figura 1.

2.1.2.2. Divisor de linhas

O divisor de linhas tem como principal função organizar as fileiras de cana, garantindo que as plantas entrem de forma alinhada e contínua na máquina, evitando que fiquem presas e possibilitando o correto andamento do processo interno do maquinário (Silva, 2022). A Figura 2, retirada do Catálogo de Reposição da John Deere (2006), ilustra detalhadamente esse componente.

Figura 2. Vista explodida do divisor de linhas



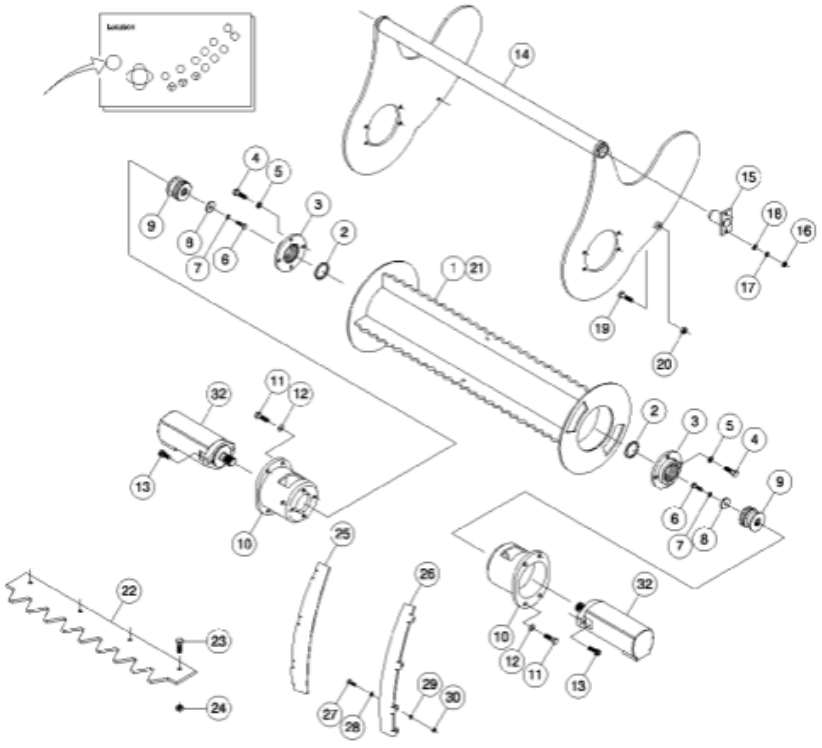
Fonte: (John Deere, 2006)

Esse sistema é composto principalmente por motores hidráulicos que dão movimento aos pirulitos que auxiliam a guiar a cana. Os quais são representados pelos números 17 e 44 da figura 2.

2.1.2.3 Rolo tombador

O rolo tombador tem a função de inclinar a cana-de-açúcar logo após sua passagem pelo divisor de linhas, facilitando sua condução para as etapas seguintes do processo e prevenindo possíveis obstruções ou falhas no fluxo da matéria-prima. A Figura 3, extraída do Catálogo de Reposição da John Deere (2006), apresenta a estrutura detalhada desse componente.

Figura 3. Vista explodida do rolo tombador



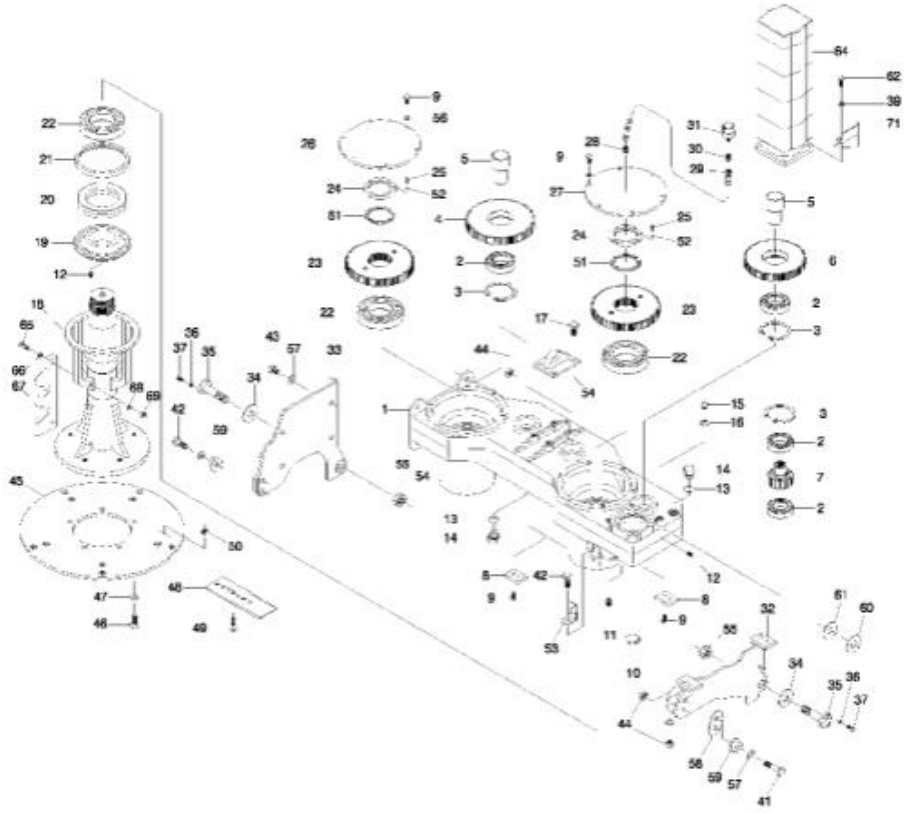
Fonte: (John Deere, 2006)

Esse sistema é composto principalmente por um conjunto de motores hidráulicos responsáveis pelo movimento do rolo tombador. Na Figura 3, é possível identificar os motores, indicados pelo número 32, e o próprio rolo, representado pelo número 1.

2.1.2.4. Corte de base

Após a inclinação promovida pelo rolo tombador, a cana-de-açúcar segue para o sistema de corte de base, responsável por realizar o corte dos colmos na altura basal, preparando-os para as próximas etapas do processamento. A Figura 4 ilustra em detalhes a estrutura desse sistema, conforme apresentado no Catálogo de Reposição da John Deere (2006).

Figura 4. Vista explodida do sistema de corte de base



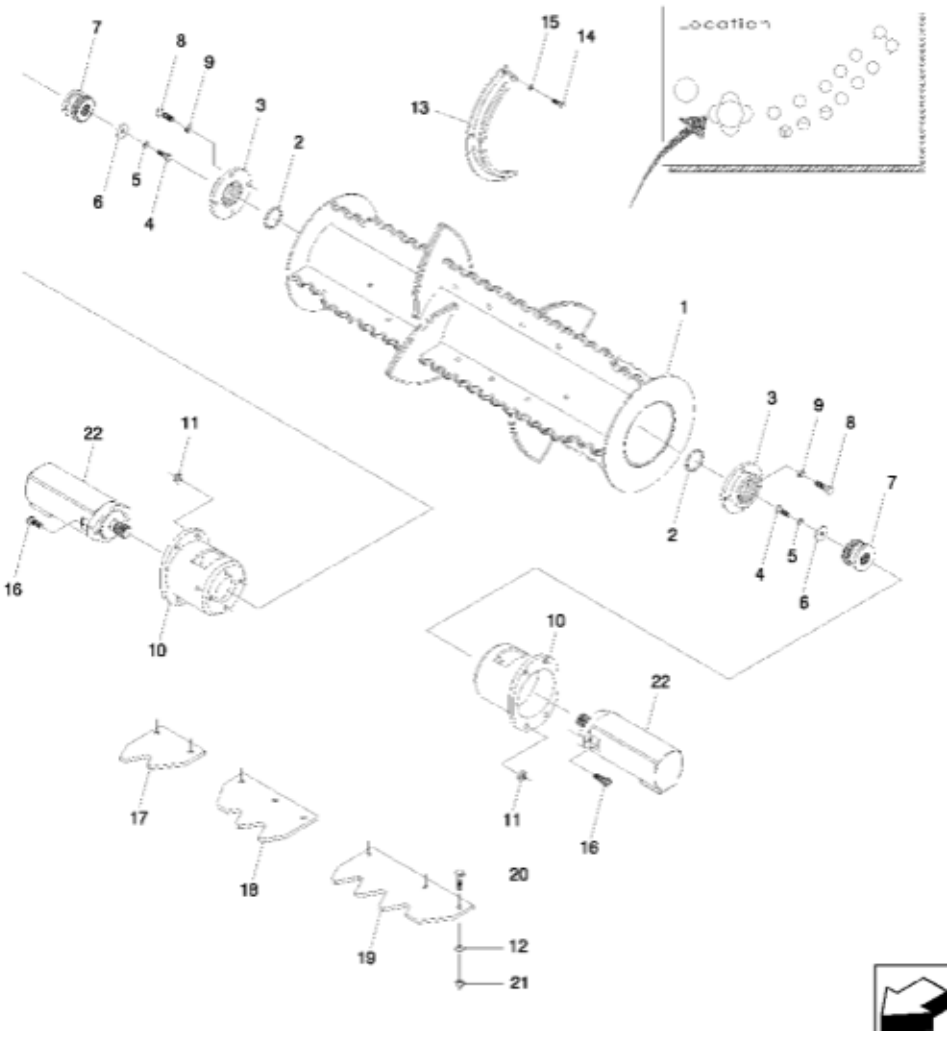
Fonte: (John Deere, 2006)

O sistema de corte de base é acionado por motores hidráulicos que giram discos equipados com facas, possibilitando o corte preciso da cana na altura adequada. Na Figura 4, observa-se o disco representado pelo número 45, a faca poli pelo número 48 e o motor hidráulico responsável pelo acionamento, identificado pelo número 64.

2.1.2.5. Rolos alimentadores

Os rolos alimentadores são responsáveis por transportar e alinhar a cana cortada dentro da máquina, garantindo que ela siga corretamente para as etapas seguintes do processo de colheita (Silva, 2021). A Figura 5, retirada do Catálogo de Reposição da John Deere (2006), ilustra detalhadamente a disposição e o funcionamento desses rolos no sistema.

Figura 5. Vista explodida do sistema de rolos alimentadores



Fonte: (John Deere, 2006)

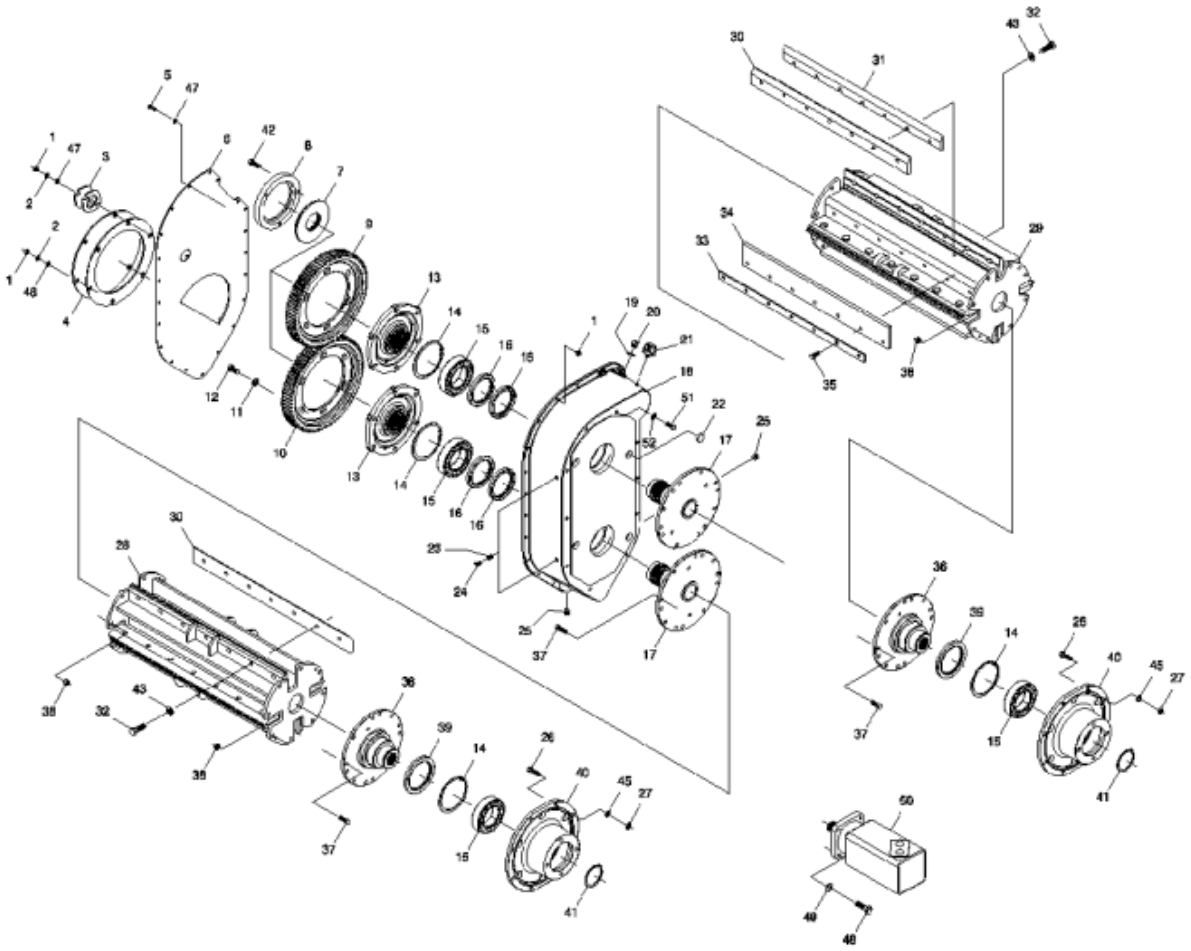
O sistema dos rolos alimentadores é composto por uma série de rolos posicionados de forma estratégica para guiar e alinhar a cana cortada ao longo de sua passagem pela máquina. Esses rolos asseguram que os colmos permaneçam organizados e corretamente direcionados, facilitando a transição para a próxima etapa

do processo de colheita e minimizando o risco de entupimentos ou perdas de matéria-prima.

2.1.2.6. Picadores

Os picadores são compostos por rolos equipados com facões, cuja função é realizar o corte fracionado dos colmos de cana-de-açúcar. Esse sistema permite ajustar o tamanho dos fragmentos conforme a finalidade do processo, otimizando o preparo da matéria-prima para as etapas seguintes (Silva, 2021). A Figura 6, extraída do Catálogo de Reposição da John Deere (2006), apresenta em detalhes a estrutura e o funcionamento dos picadores.

Figura 6. Vista explodida do sistema de picadores



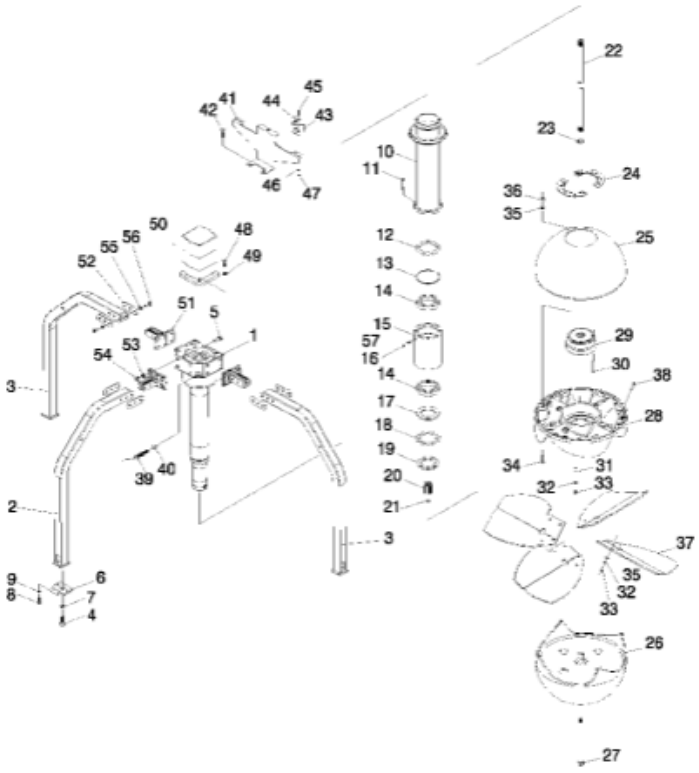
Fonte: (John Deere, 2006)

O sistema dos picadores é formado por dois rolos nos quais estão acoplados facões que operam de maneira sincronizada, realizando o corte preciso da cana-de-açúcar em toletes. Na Figura 6, é possível identificar as lâminas (facões) representadas pelo número 31 e os rolos indicados pelos números 28 e 29.

2.1.2.7. Extrator primário

O extrator primário é responsável por realizar a primeira limpeza da cana-de-açúcar durante o processo de colheita. Esse sistema é composto por um motor hidráulico e uma hélice, que gera uma corrente de ar capaz de remover materiais indesejados, como palha e impurezas, da matéria-prima (Silva, 2021). No entanto, trata-se também de um dos pontos do maquinário onde ocorrem as maiores perdas de matéria-prima devido à eliminação de pequenos fragmentos de cana junto com os resíduos (Matos, R., 2012). A Figura 7, retirada do Catálogo de Reposição da John Deere (2006), ilustra detalhadamente a estrutura do extrator primário.

Figura 7. Extrator primário em vista explodida



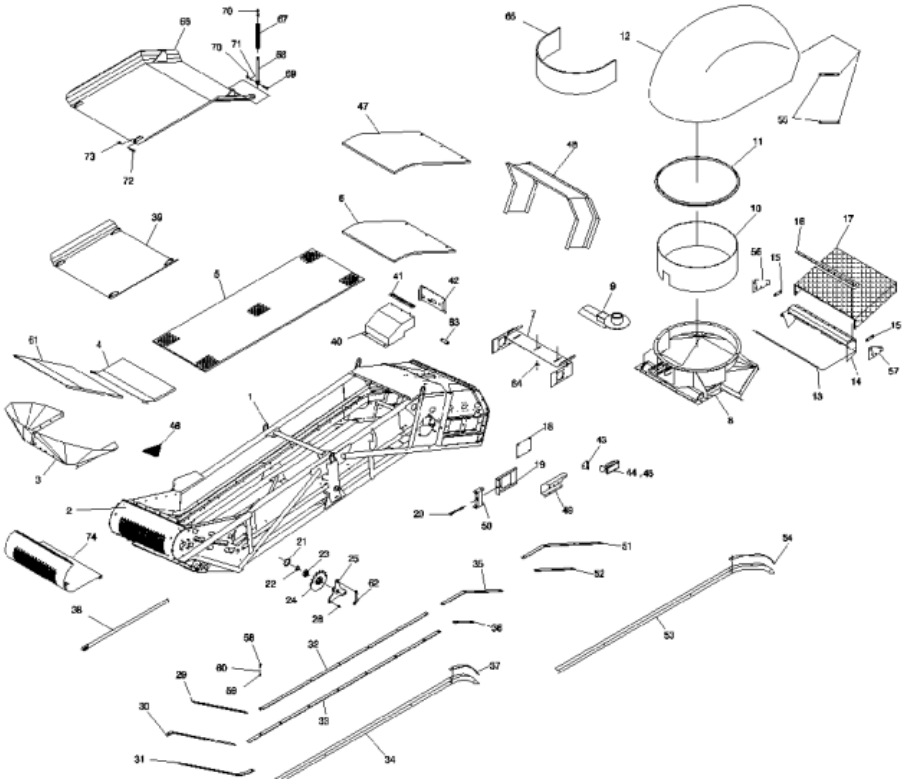
Fonte: (John Deere, 2006)

O ventilador do extrator primário representa o primeiro estágio de remoção de material estranho da cana-de-açúcar após a colheita, sendo responsável por eliminar palha, terra e outras impurezas que são coletadas juntamente com a matéria-prima. Esse processo é fundamental para garantir a qualidade do produto enviado à indústria, evitando a contaminação e o acúmulo de resíduos nos equipamentos subsequentes. No entanto, trata-se também de uma etapa crítica, pois é nesse sistema que ocorre a maior parte das perdas de matéria-prima, já que fragmentos de cana podem ser inadvertidamente descartados junto com os resíduos removidos (MATOS, R., 2012). Por esse motivo, a regulagem e a operação adequada do ventilador do extrator primário exigem atenção especial, visando minimizar desperdícios e otimizar a eficiência do processo de colheita.

2.1.2.8. Elevador de taliscas

O elevador de taliscas tem a função de transportar os colmos de cana já cortados até o ponto mais alto da colhedora, onde são posteriormente despejados no veículo de transporte (SILVA, 2021). Esse sistema é essencial para garantir o fluxo contínuo e eficiente da matéria-prima, evitando acúmulos ou interrupções no processo. o elevador de taliscas assegura que a cana picada seja conduzida do bojo até a extremidade da máquina de forma uniforme, contribuindo para o bom desempenho operacional e reduzindo o risco de perdas ou entupimentos. A Figura 8, extraída do Catálogo de Reposição da John Deere (2006), ilustra detalhadamente a estrutura e o funcionamento desse componente fundamental para o transporte da cana dentro da colhedora.

Figura 8. Vista explodida do elevador de taliscas

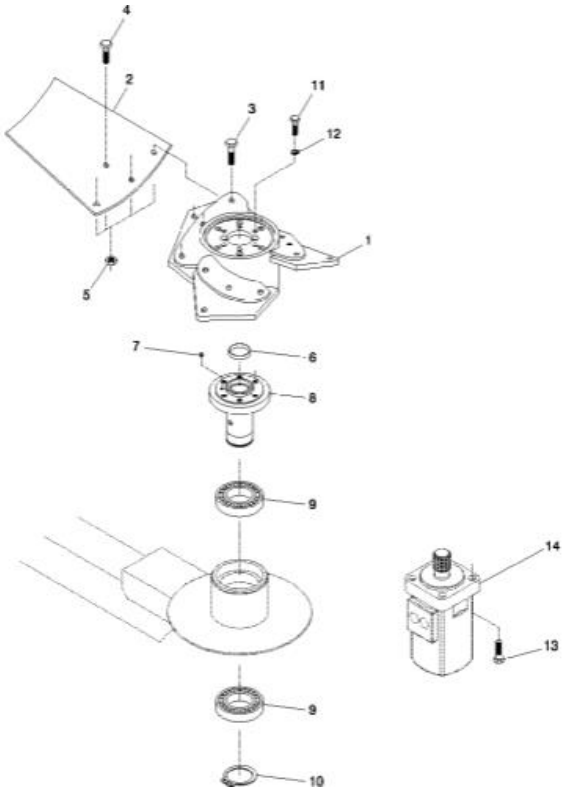


Fonte: (John Deere, 2006)

2.1.2.9. Extrator secundário

O sistema do extrator secundário é responsável por realizar a segunda etapa de limpeza dos toletes de cana, removendo partículas mais finas, como resíduos de palha e poeira, que possam ter passado pelo extrator primário (SILVA, 2021). Esse processo adicional contribui para a obtenção de uma matéria-prima mais limpa e adequada ao processamento industrial. A Figura 9, extraída do Catálogo de Reposição da John Deere (2006), apresenta em detalhes a estrutura do extrator secundário.

Figura 9. Detalhes do extrator secundário



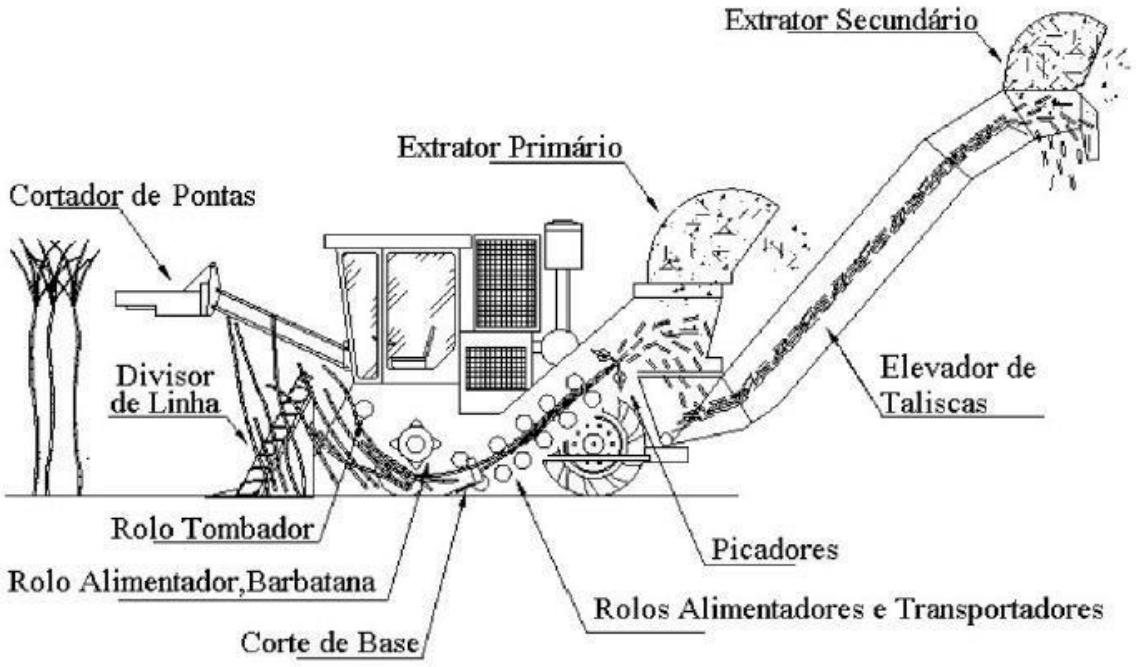
Fonte: (John Deere, 2006)

O extrator secundário realiza a segunda e última etapa de limpeza durante o processo de corte e carregamento, operando de maneira semelhante ao extrator primário. Sua principal função é remover as partículas mais leves e finas, especialmente a palha que foi transportada pelo elevador de taliscas, garantindo que a matéria-prima chegue ao destino com maior pureza.

2.1.2.10. Disposição dos componentes

O posicionamento desse dos sistemas da colhedora de cana picada podem ser visualizados na Figura 10, extraída de Neves (2003), que ilustra a disposição integrada dos principais componentes ao longo do maquinário.

Figura 10. Disposição dos principais componentes ao longo do maquinário



Fonte: (Neves, 2003)

2.1.3. Vantagens e desafios da colheita mecanizado

A colheita mecanizada apresenta vantagens significativas em comparação ao método manual, principalmente em termos de produtividade e eficiência. De acordo com análises realizadas pela ALCOPAR (2006), uma única colhedora automotriz pode atingir um rendimento equivalente ao trabalho de aproximadamente 100 trabalhadores, considerando que cada pessoa colhe, em média, de 5 a 6 toneladas de cana por dia, enquanto uma colhedora mecanizada pode atingir entre 15 e 20 toneladas por hora. Esse desempenho superior reflete não apenas no aumento da produção, mas também na redução da necessidade de mão de obra, resultando em economia com custos trabalhistas.

Entretanto, a mecanização também traz desafios. A operação das colhedoras exige mão de obra qualificada, pois muitos trabalhadores que realizavam o corte manual não possuem conhecimento técnico para operar esse tipo de equipamento (ALCOPAR, 2006). Além disso, há desvantagens relacionadas às perdas inerentes ao processo mecanizado, as quais podem ser agravadas em canaviais onde não ocorre a queima prévia. Nessas situações, além da perda de

matéria-prima, observa-se também maior contaminação por material estranho, como palha e impurezas (MARTINS, 2016).

2.2. PERDAS NA COLHEITA MECANIZADA

As perdas de matéria-prima durante o processo de colheita da cana-de-açúcar representam um desperdício significativo, resultando na redução do potencial de lucro para a empresa (MATOS, R., 2012). Neves (2003), complementa:

> As perdas de cana-de-açúcar durante a colheita mecânica podem ser divididas em duas componentes, perdas visíveis e invisíveis. As perdas são denominadas visíveis quando podem ser detectadas visualmente no campo após a colheita, constituindo-se principalmente de canas inteiras, rebolos e tocos resultantes da altura do corte basal. Estas perdas podem ser facilmente determinadas por coleta manual.
> As perdas na forma de caldo, serragem e estilhaços de cana, que ocorrem devido à ação de mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana durante o processamento interno nas colhedoras, são definidas como perdas invisíveis.

Dessa forma, observa-se que as perdas invisíveis raramente são contabilizadas, pois são praticamente impossíveis de quantificar com precisão, embora representem uma parcela significativa do desperdício durante a colheita.

2.2.1. Tipos de perdas: matéria-prima e material estranho

Segundo Santos (2011), a matéria-prima colhida no processo é a cana-de-açúcar (Saccharum spp.), uma planta de elevado potencial genético para o acúmulo de açúcares, especialmente a sacarose, principal insumo para a produção de açúcar e álcool. Portanto, qualquer perda dessa matéria-prima ao longo da colheita representa um impacto direto na eficiência e rentabilidade do processo produtivo.

Por outro lado, o material estranho, conforme definido por Neves (2003), compreende todos os elementos que não têm utilidade para a fabricação de açúcar ou álcool. Esse material pode ser de origem vegetal, como raízes, palha seca, folhas e ponteiros da própria cana; de origem mineral, como terra ou pedras provenientes do solo; ou ainda de origem metálica, advinda do desgaste de peças do maquinário. A presença de material estranho na matéria colhida reduz sua qualidade, aumenta os

custos de processamento e pode ocasionar desgaste prematuro nos equipamentos industriais.

Em comparação ao método manual, a colheita mecanizada apresenta uma leve desvantagem quanto à quantidade de material estranho misturado à cana-de-açúcar colhida, comprometendo a pureza da matéria-prima e demandando maior atenção no processo de limpeza e preparo (Reis, 2009). Esse fator também pode aumentar o volume total transportado e armazenado, elevando os custos logísticos e operacionais.

2.2.2. Fatores que contribuem para perdas: regulagens e operação

De acordo com o estudo de Neves et al. (2004), o aumento da velocidade de rotação do extrator primário proporciona uma limpeza mais eficiente da cana-de-açúcar, removendo maior quantidade de impurezas. No entanto, essa maior eficiência de limpeza está diretamente associada ao aumento das perdas visíveis de matéria-prima, já que fragmentos de cana podem ser eliminados junto com os resíduos. Para uma análise adequada desse fator, é fundamental considerar também a velocidade de deslocamento do maquinário, que influencia o desempenho global da colheita.

A regulagem da rotação do extrator primário é realizada manualmente pelo operador, que monitora a velocidade por meio de um sensor de RPM com leitura disponível na cabine da máquina. O operador ajusta a rotação conforme as condições do campo, o tipo de cana e a estratégia de colheita adotada.

Além da rotação, a velocidade de operação da colhedora é outro fator crucial, igualmente controlado pelo operador. Segundo o estudo de Carvalho Filho (2000), velocidades mais elevadas de deslocamento aumentam a quantidade de cana colhida e conferem maior estabilidade ao processo de corte. Entretanto, a velocidade operacional não pode ser ajustada de forma isolada: ela deve estar em harmonia com a rotação do extrator primário para evitar sobrecarga no sistema e minimizar perdas. Essa necessidade de ajuste combinado entre rotação e velocidade de deslocamento é confirmada pelos resultados apresentados na pesquisa de Juarez (2022), que evidenciam o impacto direto dessas variáveis no índice de perdas e na eficiência da colheita.

2.2.3. Impactos produtivos e econômicos das perdas

Os impactos produtivos das perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar vão além da simples redução de volume colhido e estão intimamente ligados ao meio ambiente e à sustentabilidade do processo agrícola. Fatores naturais, como chuvas intensas e ventos fortes, podem causar danos significativos aos canaviais, resultando em perdas de matéria-prima no momento da colheita. Além disso, há consequências ambientais associadas à atividade agrícola, como a perda de nutrientes do solo devido à erosão provocada pela exposição do solo durante o preparo e após a colheita, o que compromete a fertilidade e pode exigir maior uso de insumos para a recuperação das áreas degradadas. Outro ponto relevante é a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas e superficiais, provocada pelo uso intensivo de defensivos agrícolas e pelo arraste de resíduos para os corpos hídricos, afetando negativamente a qualidade ambiental e a biodiversidade local (Luchiari Junior, 2022).

No âmbito econômico, as perdas de matéria-prima representam um prejuízo direto para as empresas produtoras. Estudo realizado por Carmo (2023) aponta que uma perda de apenas 10% da matéria-prima colhida ao longo de um ano pode resultar em uma redução de até US$ 540 milhões no lucro do setor sucroenergético. Esse valor evidencia o impacto financeiro significativo que as perdas na colheita podem causar, comprometendo a rentabilidade do negócio, elevando os custos operacionais e dificultando o planejamento estratégico das empresas do setor. Assim, além do desafio técnico de reduzir as perdas durante a colheita, é fundamental adotar práticas sustentáveis e eficientes que promovam a preservação ambiental e assegurem a viabilidade econômica das operações agrícolas.

2.3. O EXTRATOR PRIMÁRIO DA COLHEDORA

2.3.1. Função do extrator primário no processo de colheita

O extrator primário da colhedora é um componente fundamental do maquinário, sendo responsável pela primeira etapa de limpeza da cana-de-açúcar logo após o corte. Conforme destacado por Matos R. (2012), esse sistema atua direcionando as impurezas — como palha e terra — para a parte traseira da máquina, evitando que contaminem a matéria-prima. O funcionamento do extrator primário

baseia-se em uma hélice acionada por um motor hidráulico, que gera uma corrente de ar capaz de puxar e remover os resíduos presentes junto à cana. Essas impurezas são então direcionadas ao solo pelo bojo do extrator, impedindo que sejam transportadas para o elevador de taliscas e, consequentemente, para as etapas seguintes do processamento (Conecta, 2017).

2.3.2. Influência da velocidade angular e da regulagem no desempenho

A velocidade angular corresponde ao tempo que um objeto leva para completar uma volta ao redor de um eixo, sendo representada pela letra grega ômega (ω). No Sistema Internacional (SI), sua unidade de medida é o radiano por segundo (rad/s), embora, na prática da engenharia e em operações agrícolas, a unidade mais utilizada seja a rotação por minuto (RPM) (BRITANNICA, 2025). No contexto do extrator primário das colhedoras, a velocidade angular refere-se diretamente à rotação da hélice, cuja regulagem pode ser ajustada de acordo com as necessidades operacionais.

A regulagem da velocidade angular é um fator determinante para o desempenho do extrator primário. Conforme demonstrado por Pelloso (2019), uma regulagem inadequada, aliada à escolha incorreta da velocidade de operação, pode aumentar significativamente as perdas de matéria-prima durante a colheita. Isso ocorre porque velocidades muito elevadas da hélice, embora promovam maior eficiência na remoção de impurezas, acabam descartando também fragmentos valiosos da cana-de-açúcar. Por outro lado, velocidades muito baixas podem comprometer a limpeza, permitindo que materiais indesejados permaneçam na matéria-prima.

Além das perdas de matéria-prima, é importante destacar que a regulagem inadequada da velocidade do extrator primário pode aumentar o carregamento de material estranho, como palha e terra, dificultando o processamento industrial e elevando os custos operacionais (NEVES, 2003). Por esse motivo, a escolha das configurações ideais de rotação deve levar em consideração fatores como o tipo de solo, as condições da lavoura, a umidade e as características da cana, buscando sempre o equilíbrio entre eficiência de limpeza e minimização de perdas.

2.3.3. Relação entre a eficiência do extrator e as perdas de matéria-prima

De acordo com o estudo de Neves (2004), o sistema do extrator primário representa um dos principais pontos de perda de matéria-prima durante a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. Entre os fatores que mais contribuem para essas perdas está a regulagem inadequada da velocidade de rotação da hélice do extrator primário.

Pesquisas realizadas por Juarez (2022) indicam que existe uma relação inversa entre a eficiência da limpeza promovida pelo extrator primário e o índice de perdas de matéria-prima. Ou seja, quando a rotação do extrator é aumentada (maior RPM), há uma remoção mais eficiente das impurezas, resultando em uma cana mais limpa; contudo, esse ganho de eficiência vem acompanhado de um aumento significativo nas perdas de fragmentos valiosos de cana que são eliminados junto com o material indesejado. Por outro lado, ao reduzir a rotação, as perdas de matéria-prima diminuem, mas a quantidade de resíduos que permanecem misturados à cana tende a aumentar, prejudicando a qualidade da matéria-prima destinada ao processamento industrial.

3. DESENVOLVIMENTO

A relação entre o extrator primário e as perdas durante a colheita mecanizada da cana-de-açúcar está diretamente associada à velocidade de operação da máquina e à rotação do extrator. Estudos realizados por Juarez (2022) demonstram que variações nessas regulagens influenciam significativamente o índice de perdas, especialmente em relação aos estilhaços de cana. Por exemplo, ao analisar velocidades de deslocamento de 3 km/h e 4 km/h, verificou-se que o aumento da velocidade não provocou alteração significativa na quantidade de toletes perdidos, mas impactou consideravelmente as perdas de estilhaços. Os dados mostram que, enquanto a perda de estilhaços foi de 0,64 t/ha a 3 km/h, esse valor aumentou para 1,04 t/ha a 4 km/h, representando um acréscimo de 0,40 t/ha devido ao aumento de apenas 1 km/h na velocidade de operação. Esse padrão é confirmado pelas pesquisas de Segato e Daher (2011), que ao avaliarem velocidades de 8 km/h e de 6,5 a 7 km/h, encontraram perdas de estilhaços de 1,72 t/ha e 1,39 t/ha, respectivamente,

reforçando a conclusão de que velocidades mais baixas contribuem para a redução das perdas durante a colheita.

Além da velocidade de deslocamento, a rotação do extrator primário é outro fator determinante. Juarez (2022) avaliou quatro diferentes rotações do extrator primário — 600, 700, 800 e 900 RPM — e observou que, à medida que a rotação aumentava, tanto as perdas de toletes quanto de estilhaços também cresciam. Especificamente, as perdas de toletes foram de 0,20 t/ha em 600 RPM e chegaram a 0,49 t/ha em 900 RPM, enquanto as perdas de estilhaços variaram de 0,28 t/ha para 1,61 t/ha entre esses mesmos intervalos de rotação. Esses resultados evidenciam que o aumento da rotação, embora amplie a eficiência da limpeza, pode elevar significativamente o desperdício de matéria-prima.

Pelloso (2019) complementa essa análise ao comparar diferentes combinações de velocidade de deslocamento e de rotação do extrator primário. Os testes indicam que a velocidade de rotação do extrator primário exerce maior influência sobre as perdas de estilhaços do que a velocidade da máquina. Por exemplo, em dois ensaios realizados a 6 km/h, uma rotação de 1200 RPM resultou em perda de 0,32 t/ha de estilhaços, enquanto uma rotação reduzida para 700 RPM, sob a mesma velocidade de deslocamento, gerou perda de apenas 0,08 t/ha. Esses dados reforçam que a maior concentração de perdas por estilhaços está associada diretamente ao sistema do extrator primário e sua regulagem.

Portanto, o ajuste cuidadoso da velocidade de operação e, principalmente, da rotação do extrator primário é fundamental para otimizar o processo de colheita mecanizada, minimizando perdas e maximizando o aproveitamento da matéria-prima. A capacitação dos operadores e o monitoramento constante dos parâmetros de funcionamento são essenciais para alcançar melhores resultados na produção e na sustentabilidade do processo agrícola.

Tabela 1. Médias de perdas totais, por tolete e por estilhaço

	Total	**Tolete**	**Estilhaço**
	t ha^{-1}	t ha^{-1}	t ha^{-1}
	Velocidade de deslocamento (km h^{-1})		
3	0,61	0,33	0,64
4	0,92	0,38	1,04
	Velocidade do extrator primário (RPM)		
600	0,30	0,20	0,28
700	0,62	0,34	0,56
800	0,82	0,40	0,91
900	1,32	0,49	1,61
		ANAVA (Pr>F)	
Deslocamento (D)	0,0904	0,7369	0,0344
Extrator (E)	0,0034*	0,0463*	0,0001*
D x E	0,5436	0,5834	0,5032
CV (%)	64,02	66,42	58,9

Fonte: (Juarez, 2022)

A Tabela 1, extraída de Juarez (2022), apresenta as médias de perdas totais, por tolete e por estilhaço, na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes condições de velocidade de deslocamento e rotação do ventilador do extrator primário. A análise dos dados revela tendências importantes para o manejo operacional.

No que diz respeito à velocidade de deslocamento, observa-se que sua influência sobre as perdas de toletes é relativamente pequena. Ao comparar as velocidades de 3 km/h e 4 km/h, a perda de toletes aumentou de 0,33 t/ha para 0,38 t/ha — uma diferença de apenas 0,05 t/ha, considerada pouco significativa. Por outro lado, as perdas de estilhaços apresentaram sensibilidade muito maior a essa variável: ao passar de 3 km/h para 4 km/h, as perdas saltaram de 0,64 t/ha para 1,04 t/ha, representando um aumento expressivo de 0,40 t/ha para apenas 1 km/h de diferença na velocidade.

Quando se avalia o impacto da rotação do ventilador do extrator primário (considerando 600, 700, 800 e 900 RPM), os resultados indicam que aumentos na rotação elevam tanto as perdas de toletes quanto, especialmente, as de estilhaços.

Em 600 RPM, foram registrados 0,20 t/ha de toletes e 0,28 t/ha de estilhaços perdidos. Ao elevar a rotação para 700 RPM, as perdas aumentaram para 0,34 t/ha de toletes e 0,56 t/ha de estilhaços, ou seja, a quantidade de estilhaços perdidos praticamente dobrou. Em 800 RPM, a perda de toletes foi de 0,40 t/ha e a de estilhaços, 0,91 t/ha — um crescimento ainda mais acentuado nas perdas de estilhaços. Por fim, em 900 RPM, as perdas atingiram 0,49 t/ha para toletes e 1,61 t/ha para estilhaços, totalizando, entre a menor e a maior rotação analisada, um incremento de 0,29 t/ha em toletes e 1,33 t/ha em estilhaços.

Esses resultados deixam claro que as perdas de estilhaços são substancialmente mais afetadas pelo aumento da rotação do extrator primário do que as perdas de toletes. Embora o desperdício de toletes também aumente, o efeito sobre os estilhaços é muito mais acentuado, tornando-se o principal fator de perda de matéria-prima nesse contexto.

A análise também evidencia a importância da combinação entre a velocidade de deslocamento da máquina e a rotação do extrator primário na determinação do volume total de perdas. Como apontado por Pelloso (2019), o ajuste dessas variáveis deve ser realizado de forma estratégica, buscando o melhor equilíbrio possível entre eficiência de limpeza e minimização do desperdício. A definição dos parâmetros operacionais ideais depende, portanto, de uma avaliação criteriosa do perfil da lavoura, das condições de colheita e dos objetivos produtivos de cada operação.

Tabela 3. Comparação de desempenho em relação a diferentes tipos de disperdício

Tratamentos	EST	TOL	PED	TOC
3 km.h^{-1} – 1200 rpm	0.30 ab	0.52 d	0.15 c	0.07 e
6 km.h^{-1} – 1200 rpm	0.32 a	0.54 c	0.38 b	0.21 b
6 km.h^{-1} – 700 rpm	0.08 d	0.49 e	0.15 c	0.11 d
3 km.h^{-1} – 700 rpm	0.16 cd	0.64 b	0.01 d	0.22 a
5 km.h^{-1} – 950 rpm	0.23 bc	0.67 a	0.68 a	0.15 c

Fonte: (Pelloso, 2019)

A Tabela 3, extraída do estudo de Pelloso, apresenta uma análise comparativa do desempenho em diferentes tipos de perdas de cana-de-açúcar conforme a combinação de velocidade de deslocamento e rotação do extrator

primário. Foram avaliadas cinco condições operacionais: 3 km/h – 1200 rpm, 6 km/h – 1200 rpm, 6 km/h – 700 rpm, 3 km/h – 700 rpm e 5 km/h – 950 rpm, considerando perdas em forma de estilhaço, tolete, pedaços e tocos, todas mensuradas em toneladas por hectare (t/ha).

A análise dos dados evidencia que, para minimizar perdas por estilhaço, a combinação mais eficiente foi a de 6 km/h – 700 rpm, registrando apenas 0,08 t/ha de desperdício. Essa configuração, que alia alta velocidade de operação à baixa rotação do extrator, também apresentou o menor índice de perdas de toletes, com 0,49 t/ha, demonstrando que o ajuste fino entre velocidade e rotação pode otimizar significativamente a eficiência da colheita.

No caso das perdas de pedaços, a melhor configuração foi 3 km/h – 700 rpm, que resultou em uma perda mínima de 0,01 t/ha, associando baixa velocidade de deslocamento a baixa rotação do extrator. Para as perdas de tocos, a menor quantidade foi observada em 3 km/h – 1200 rpm, totalizando 0,07 t/ha, indicando que uma rotação mais elevada do primário pode, nesse contexto, ser vantajosa para esse tipo de perda específica.

Por outro lado, ao analisar os resultados extremos, percebe-se que as maiores perdas de estilhaços ocorreram com a configuração de 6 km/h – 1200 rpm (0,32 t/ha), evidenciando que, para a mesma velocidade de deslocamento, o aumento da rotação do extrator primário amplifica consideravelmente o desperdício. Quanto aos toletes, o maior índice foi verificado em 5 km/h – 950 rpm (0,67 t/ha), sugerindo que a combinação de maior velocidade de deslocamento com rotação intermediária pode não ser a ideal para minimizar esse tipo de perda.

Para as perdas de pedaços, a configuração 5 km/h – 950 rpm também se destacou negativamente, registrando 0,68 t/ha, enquanto para tocos, o valor mais alto foi identificado em 3 km/h – 700 rpm (0,22 t/ha), mostrando que a redução da rotação nem sempre é vantajosa dependendo do tipo de resíduo analisado.

Ao analisar o total de perdas em cada cenário, observa-se que a terceira combinação (6 km/h – 700 rpm) obteve o melhor desempenho global, com um total de 0,83 t/ha, enquanto a configuração 5 km/h – 950 rpm apresentou a maior perda total (1,73 t/ha). Esses resultados reforçam que não existe uma configuração única ideal para todos os tipos de perda, sendo necessário um ajuste estratégico das variáveis de operação conforme o objetivo de produção, as condições da lavoura e o tipo de cana processada.

Portanto, a análise apresentada na Tabela 3 ilustra de forma clara a importância do equilíbrio entre velocidade de deslocamento e rotação do extrator primário para o controle eficiente das perdas durante a colheita mecanizada, permitindo ao gestor agrícola uma tomada de decisão mais assertiva com base em dados práticos e quantitativos.

3.1. IMPORTÂNCIA DAS INSPEÇÕES REGULARES E MANUTENÇÃO PREVENTIVA NO EXTRATOR PRIMÁRIO

Com base nas análises anteriores, é fundamental destacar a importância da realização de inspeções regulares para garantir o pleno funcionamento do maquinário e a manutenção adequada das regulagens. Recomenda-se que essas verificações sejam realizadas em intervalos de 100 a 200 horas de trabalho, período no qual é essencial averiguar o diâmetro, a espessura e o ângulo das pás do extrator primário, já que o uso contínuo pode levar a desgastes e eventuais quebras desses componentes. Para assegurar precisão nessas medições, devem ser utilizados instrumentos apropriados, como paquímetros e réguas digitais, além de inspeções visuais detalhadas para identificar possíveis rachaduras, deformações ou outros danos estruturais. A adoção dessa rotina de inspeção contribui significativamente para a longevidade dos componentes, a redução de falhas inesperadas e a otimização da eficiência operacional do processo de colheita.

3.3. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE ROTINAS DE CONTROLE E MANUTENÇÃO

A análise dos desgastes nos componentes do extrator primário é fundamental para a eficiência operacional e a longevidade do maquinário, já que o contato constante entre as pás, resíduos e a própria matéria-prima naturalmente leva ao desgaste progressivo. Uma abordagem preventiva e sistemática, baseada em dados, pode evitar falhas inesperadas e reduzir significativamente o tempo de parada e os custos com manutenção corretiva.

3.3.1. Padrão de inspeção e registro

Cada fabricante estabelece parâmetros específicos para a medição e aceitação das pás e outros componentes do extrator primário. Dessa forma, é imprescindível consultar o manual técnico do fabricante antes de executar qualquer procedimento de inspeção ou substituição. Recomenda-se, ainda, registrar a espessura e outras dimensões das pás quando novas, criando uma referência para comparações futuras durante as inspeções periódicas.

O simples acompanhamento visual não é suficiente para garantir a precisão dessas avaliações. A utilização de instrumentos de medição apropriados, como paquímetros digitais e réguas, aliada ao registro sistemático das condições encontradas, contribui para um histórico confiável do desgaste de cada máquina.

3.3.2. Padronização e digitalização das anotações

A implementação de um formulário ou planilha padronizada para anotações das medições e intervenções é uma prática recomendada. Essa rotina não apenas organiza as informações de maneira clara, mas também facilita o acompanhamento de tendências de desgaste e a tomada de decisões quanto à substituição preventiva de componentes. Sugere-se que cada equipamento possua sua própria planilha de controle, reiniciando-se o registro sempre que houver troca das hélices do primário. Assim, é possível manter um histórico individualizado, proporcionando maior rastreabilidade e controle das condições de cada colhedora.

3.3.3. Responsabilidades e fluxo de atuação

É importante destacar que, embora as regulagens operacionais — como velocidade e rotação do extrator — sejam realizadas pelo operador a partir da cabine, cabe ao setor de manutenção mecânica assegurar o bom funcionamento do sistema. Isso inclui não apenas a execução das inspeções e reparos, mas também a orientação dos operadores quanto à correta utilização do equipamento e à comunicação imediata de qualquer alteração no desempenho percebida durante a operação.

3.3.4. Análise crítica e potenciais benefícios

A ausência de um controle rigoroso de desgaste e de um histórico detalhado pode resultar em falhas inesperadas, prejuízos por paradas não programadas, aumento de perdas de matéria-prima e até riscos à segurança do processo. A adoção de rotinas de inspeção padronizadas e o uso de formulários estruturados proporcionam maior confiabilidade, previsibilidade e eficiência na operação.

A digitalização desse controle — por meio de softwares de manutenção ou aplicativos — pode automatizar alertas, facilitar análises gerenciais e contribuir para a formação de um banco de dados robusto, essencial para programas de manutenção preditiva.

4. CONCLUSÃO

A análise detalhada das perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar decorrentes da regulagem e operação do extrator primário evidencia a complexidade do processo e a necessidade de um gerenciamento técnico rigoroso para maximizar a eficiência operacional e minimizar o desperdício de matéria-prima. Os resultados demonstraram que tanto a velocidade de deslocamento quanto, principalmente, a rotação do extrator primário exercem influência direta nas perdas de toletes e, de modo mais acentuado, nos estilhaços de cana. O estudo apontou que aumentos indiscriminados na rotação, ainda que promovam uma limpeza mais eficiente da matéria-prima, acabam por ampliar de forma significativa o volume de perdas, especialmente de fragmentos valiosos que poderiam ser processados industrialmente.

Os dados comparativos apresentados, extraídos de pesquisas recentes, reforçam que não existe uma configuração universal ideal de velocidade e rotação para todas as condições de campo e tipos de cana. O ajuste deve ser realizado considerando as características da lavoura, o perfil do solo e os objetivos produtivos, sempre buscando o equilíbrio entre qualidade da limpeza e conservação da matéria-prima. Observou-se também que o controle dessas variáveis não depende exclusivamente do operador, mas sim de um trabalho conjunto entre a

equipe de operação e manutenção, integrando rotinas sistemáticas de inspeção, manutenção preventiva e registro das condições do equipamento.

A implementação de rotinas padronizadas para verificação do estado das pás do extrator primário, a utilização de instrumentos de medição adequados e a padronização do registro dos dados são estratégias que se mostraram essenciais para garantir a confiabilidade e a rastreabilidade das intervenções. A digitalização dessas informações e a capacitação contínua dos operadores e técnicos contribuem para a redução de falhas inesperadas, otimização dos resultados e sustentabilidade da produção.

Conclui-se que a eficiência do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar está diretamente ligada à gestão criteriosa das regulagens e ao monitoramento constante do desempenho do extrator primário. Investir em tecnologia, treinamento e procedimentos padronizados é fundamental para diminuir perdas, reduzir custos operacionais e garantir a competitividade e sustentabilidade do setor sucroenergético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOPAR – ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE ÁLCOOL E AÇÚCAR DO PARANÁ. A cana em tempo bom. **Revista Crea-PR**, Curitiba, n. 41, p. 19, out. 2006.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, n. 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e n. 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 23 abr. 2025.

BRITANNICA. Angular velocity. Encyclopaedia Britannica, 27 fev. 2025. Disponível em: https://www.britannica.com/science/angular-velocity. Acesso em: 14 maio 2025.

CARMO, Carlos Roberto Souza; LIMA CANEPPELE, Fernando de; SANTOS MOURA, Michel dos. **Custos com mão de obra e a amostragem das perdas**

decorrentes da colheita mecanizada da cana-de-açúcar. Revista GeTeC, v. 12, n. 41, 2023.

CATÁLOGO de peças de reposição: colhedora de cana 7000/7700. Brasil, 2006. 277 p.

CONCTE BRASIL AGRO. 11 extrator primário. YouTube, 3 dez. 2017. Disponível em: https://youtu.be/UXDHYCMs3e4?si=4YQwLh-MQher_D-K. Acesso em: 14 maio 2025.

DE MATOS, Rafael et al. **Demanda de potência do motor hidráulico do extrator primário da colhedora de cana-de-açúcar**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2012.

JOHN DEERE. Catálogo de peças e informações técnicas. Disponível em: https://www.deere.com.br. Acesso em: 16 abr. 2025.

JUAREZ SANCHEZ, Douglas Enrique. **Perdas quantitativas e qualitativas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e do extrator primário**. 2022.

LUCHIARI JUNIOR, Ariovaldo; RAMOS, Nilza Patrícia. Impactos. Embrapa, 21 fev. 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/meio-ambiente/impactos. Acesso em: 12 maio 2025.

MARTINS, Murilo Battistuzzi. **Desempenho efetivo e influência no sistema de limpeza da colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário**. 2016.

MATTJIE, Clovis A.; RISTOF, Renato. **Dimensionamento de um trocador de calor para resfriamento de fluido em um circuito hidráulico utilizado em uma plantadeira**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2013.

NEVES, Jorge Luís Mangolini. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

NEVES, Jorge Luís Mangolini; MAGALHÃES, Paulo Sérgio Gonçalves; OTA, Walter Mário. **Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada**. Engenharia Agrícola, v. 24, p. 764-770, 2004.

PELLOSO, Murilo Fuentes et al. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em resposta a diferentes velocidades da colhedora e de rotação do extrator primário**. Colloquium Agrariae, v. 15, n. 4, p. 114-120, 2019. ISSN 1809-8215.

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

SANTOS, Diego H. et al. **Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, p. 443-449, 2011.

SEGATO, Silvelena Vanzolini; DAHER, Fábio. **Perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua sob velocidades de deslocamento da colhedora**. Nucleus, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2011.

SILVA. Componentes principais da colhedora de cana. YouTube, 17 out. 2021. Disponível em: https://youtu.be/chTB3XXMirs. Acesso em: 19 maio 2025.

TESTA, João Vitor Paulo. **Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) para uma e duas linhas da cultura**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Agronômicas) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, Botucatu, 2014.