

# ANÁLISE DO DESGASTE ABRASIVO EM ROLOS DE MOENDA EM USINAS DE CANA-DE-AÇÚCAR: ESTUDO DE CASO

*José Ricardo Fernandes Lima<sup>1</sup>*

*Daniel Fernando da Silva<sup>2</sup>*

## RESUMO

No processo de extração de caldo as usinas de açúcar e etanol que utilizam moendas para esse meio, geralmente sofrem abruptamente com desgaste abrasivo nos rolos dos ternos e, também de equipamentos periféricos que entram em contato direto com as impurezas. Tal efeito ocorre em função da existência de impurezas minerais contidas na matéria-prima durante o processo de colheita. Com a perda de material dos rolos, além de outros componentes, culminam na perda de eficiência dos ternos quanto à extração do caldo. O desgaste é mais acentuado nos rolos de entrada, sobretudo no primeiro e segundo ternos, em virtude do regime de trabalho mais intenso.

Palavras-chave: extração de caldo; moagem de cana-de-açúcar; abrasão; impurezas minerais.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Rio Verde, GO.

<sup>2</sup> Orientador, Especialista em Engenharia da Manutenção.

## 1. INTRODUÇÃO

Durante o processo de extração de caldo da cana-de-açúcar por intermédio de moendas ocorrem problemas relacionados ao desgaste abrasivo do equipamento, sobretudo os rolos, em função das partículas recorrentes das impurezas minerais, respectivo ao tipo de processo de colheita. As impurezas minerais contidas na matéria-prima causam notável desgaste abrasivo que é ocasionado nos ternos, em função da pressão exercida entre os rolos. Assim as impurezas tendem a causar diminuição do aproveitamento da extração (GODOY, 2013).

A problemática em questão tende a se acentuar devido à inaplicabilidade de componentes lubrificantes para minimizar os danos causados pelo atrito superficial dentre o particulado e as superfícies dos ternos, ainda que a própria água de embebição possui tais impurezas. Assim, este estudo se faz importante pela necessidade de avaliação do desgaste abrasivo com base na perda de eficiência do equipamento quanto à extração do caldo e a redução do aproveitamento de tempo. A perda de material dos rolos ocasionadas tanto pelos minerais quanto aos parâmetros de processo e regulação da moenda são fatores preponderantes para o agrave do problema.

Da mesma forma com que o caldo de cana-de-açúcar é de natureza ácida, além de que os ajustes dos equipamentos podem favorecer o desgaste entre as partes móveis devido ao contato e o efeito cisalhante dentre os rolos (GODOY, 2013).

Outro tópico a ser acrescentado é o desgaste ocorrido nos pentes, os quais influem diretamente no processo de limpeza entre as ranhuras dos rolos, além do próprio chapisco caso não haja uniformidade durante a soldagem. A pressão exercida por entre os rolos nos ternos causa à superfície de atrito, dentre eles o favorecimento da perda de material que culmina na eficiência de extração da sacarose.

### 1.1. REVISÃO DA LITERATURA

Essa revisão busca avaliar o processo de extração de caldo ressaltando a eficiência de extração do mesmo levando em consideração especificações dos equipamentos, em destaque os rolos, as impurezas contidas e suas propriedades.

### 1.1.1. Impurezas no processo de colheita

A colheita mecanizada tornou-se indispensável quanto à visão ambiental (na qual não se tem a queima da cana-de-açúcar) e trabalhista. Entretanto, Silva (2009 *apud*. MORAES, 1992) aponta que o índice de impureza é 2,7 vezes maior quando comparada à colheita manual, pois a colheita mecânica tende a aumentar a quantidade de cana colhida e, conseqüentemente, eleva-se o volume de impurezas. As condições do solo também causam uma grande intervenção quanto à qualidade de colheita, tais como a fisiologia e morfologia do solo. São consideradas impurezas vegetais raízes, folhas, ponteiros, dentre outras, enquanto as impurezas vegetais são caracterizadas por pedras, terra e eventuais matérias provenientes de algum processo que a matéria-prima fora submetida anteriormente.

Apesar das colhedoras possuírem um sistema de limpeza da cana-de-açúcar durante a colheita ainda permanece uma parte dessas sujidades nas cargas. Ainda que, conforme as regulagens dos componentes de limpeza podem ocasionar o aumento de impurezas, vegetais e minerais, contidas na cana, bem como a perda de matéria-prima. Assim, essa perda está vinculada diretamente à qualidade operacional. No caso da cana crua, em sistemas de colheita mecanizada, se têm altos índices de impurezas vegetais que influenciam na eficácia e performance de moendas, uma vez que há o crescimento de massa vegetal a ser processada sem possuir açúcares a serem extraídos, como é o caso da palhagem (RAMOS et al., 2014).

Durante o processo de colheita, a qualidade da cana-de-açúcar vai difundir de forma determinante quanto à quantidade de impurezas, sejam elas vegetais ou minerais, sendo que estas vão ser verificadas consoante a morfologia e composição do solo (SILVA, 2009).

### 1.1.2. Tipos de impurezas

No processamento da cana-de-açúcar as impurezas vegetais e minerais oferecem diferentes reações quanto aos seus efeitos nos rolos.

As impurezas vegetais contidas na cana-de-açúcar influenciam muito na composição da matéria-prima, sendo provenientes da própria planta, além de outras plantas (pragas). Como esses componentes da própria cana não possuem caldo a ser extraído essa massa tende a não ser valorizada para o processo de extração, entretanto ainda possui um alto valor calorífico servindo de combustível nas caldeiras (BOVI & SERRA, 1999).

As impurezas minerais surgem no processo a partir do corte mecanizado, sendo elas compostas, geralmente, por três elementos: areia, silte e argila. As derivações de tais impurezas vão ser determinadas de acordo com as condições climáticas e do sistema de corte. Pelo fato das impurezas estarem diretamente relacionadas ao sistema de colheita, os fatores climáticos possuem visível influência, uma vez que no período de chuva há um percentual mais acentuado de sujidades contidas na cana colhida. Sendo assim, o clima exerce autoridade na forma e nos parâmetros utilizados para colheita em respectivo das características do solo (FACCO, 2012).

Pereira (2010) aponta que podem ocorrer diversos efeitos de desgaste de acordo com o mecanismo causador, podendo ser fator mecânico, químico e/ou térmico e, dessa forma, são caracterizados em função dos efeitos abrasivo, adesivo, desgaste corrosivo, erosivo, fadiga e oxidativo.

As impurezas minerais agem diretamente no desgaste dos ternos. O alto índice de dureza de tais minerais presentes na matéria-prima resultam na perda de material das ranhuras. O  $\text{SiO}_2$  (dióxido de silício) é um dos elementos que causa um efeito abrupto de desgaste nos rolos. Na concepção de Facco (2012) as impurezas minerais correspondem a um custo acrescido em manutenção de cerca de R\$ 0,50 a R\$ 0,70 para cada tonelada de cana processada. Apesar de que os rolos também sofrem um alto desgaste devido à fatores corrosivos, devido ao pH do caldo extraído estar próximo à 4, tendem a potencializar a perda de performance e extração de caldo. A **FIGURA 1** mostra a forma como o caldo está sendo extraído caracterizando ambiente propenso aos efeitos de desgaste, contendo impurezas, tanto minerais quanto vegetais dissolvidos no mesmo.

**FIGURA 1** – Caldo sendo extraído contendo impurezas vegetais e minerais



Fonte: José Ricardo Fernandes Lima, 2016.

### 1.1.3. Tipos de desgaste

As superfícies dos metais, como aço-carbono e outras ligas, possuem consideráveis imperfeições e rugosidades superficiais, independentemente de quaisquer processos aos quais foram submetidas e estas irregularidades sempre estarão presentes, ainda que macro e/ou microscopicamente. Tais anomalias influenciam diretamente nos efeitos de lubrificação e também na mecânica de contato, a qual é de suma importância no processo de extração de caldo, tendo em vista que tais imperfeições superficiais são imprescindíveis para o arraste e aderência do bagaço nos rolos por intermédio dos frisos (MACHADO, 2008).

Em função do contato entre as superfícies ocorrem forças tangenciais que, conforme a intensidade, as forças de atrito tendem a agredir a superfície em contato variando o grau de imperfeições e defeitos. O atrito pode ser seco, quando há o contato direto entre as superfícies e o atrito viscoso que, por sua vez, envolve um fluido viscoso que cria uma camada lubrificante que se movimenta em diferentes velocidades, garantindo o efeito lubrificante (MACHADO, 2008).

A tribologia é a ciência que pesquisa as interações entre as superfícies em movimento envolvendo os efeitos de atrito, lubrificação e desgaste que ocorrem em função do contato e do movimento relativo. De acordo com a Norma DIN 50320 o desgaste é caracterizado pela perda de material de uma superfície de corpo sólido, de forma gradativa, em função do atrito causado por um corpo sólido, líquido ou gasoso em movimentação relativa. O desgaste pode ser determinado por diversos mecanismos que possuem propriedades distintas aos quais causam efeitos específicos (SUSKI, 2004).

Conforme Pereira (2010) o desgaste é a perda de material, a princípio em caráter superficial, e tornando mais profunda de forma gradativa até chegar ao ponto de uma deformação plástica, assim comprometendo o equipamento e/ou a peça que é submetida ao desgaste. No caso das partículas com alta dureza o favorecimento do desgaste abrasivo é mais atenuante em função do movimento dos rolos e particulados abrasivos. Em primeira instância a perda de material ocorre a nível molecular e com o aumento posterior dos efeitos de desgaste tende a transigir características macroscópicas. A **FIGURA 2** aponta o efeito abrasivo que ocorre nos rolos em função do atrito causado por impurezas minerais presentes no processo de extração de caldo causando uma perda de material acarretando inconformidades na superfície das camisas, como trincas e rachaduras.

**FIGURA 2** – Efeito abrasivo ocorrido nos rolos



Fonte: José Ricardo Fernandes Lima, 2016.

O desgaste é o fenômeno que ocorre em virtude da transferência de material em função da existência de partículas presentes nos movimentos relativos, ocorrendo o contato entre metais, sólidos não metálicos, líquidos e gases em movimento. De acordo com a norma DIN 50320 os tipos de desgaste podem ser classificados em quatro tipos, sendo eles: de adesão, abrasão, fadiga superficial e reação triboquímica. Apesar de diversos autores ressaltarem outros tipos de desgaste em função de seus mecanismos e respectivos efeitos de desgaste, dentre eles citam: abrasão, adesão, atrito, cavitação, corrosão, erosão, fadiga superficial e impacto. Com a abrasão o efeito se dá goivagem, a alta tensão e a baixa tensão (RIBEIRO, 2004).

#### 1.1.4. Abrasão

A abrasão consiste no deslocamento e/ou desprendimento de material em cargo dos níveis elevados de dureza submetidas a movimentos relativos pelo princípio de fricção e raspagem. Quando a partícula abrasiva entra em contato com a superfície do sólido tende a causar deformações, a princípio, a níveis moleculares, podendo se tornar uma deformação elástica, a coeficientes superficiais, se tornando um agravante, causando uma mudança dimensional permanente (PEREIRA, 2010).

Marin (2010) aponta que existem dois tipos de desgaste abrasivo: a dois e a três corpos. O trabalho é voltado especificamente para três corpos, ou seja, os dois rolos aos quais é aplicada determinada pressão entre si e mais o particulado. Assim, o desgaste é deferido por meio de três mecanismos: microsulcamento, formação de proa e o microcorte. Dados tais mecanismos de

desgaste, impurezas minerais, ocasionam níveis variados de desgaste, de caracteres moderados ou críticos. Um fator importante para determinação do grau de desgaste causados por tais mecanismos é definido pela equação (1).

$$f_{ab} = \frac{Av - (A1 + A2)}{Av} \quad (1)$$

A equação (1) refere-se  $Av$  por área transversal de risco e as áreas  $A1$  e  $A2$  apontam a área de material deformado.

Dessa forma, o efeito abrasivo é dado a partir de dois processos onde ocorre a formação de sulcamentos em função da deformação plástica, na qual não há perda de material e, posteriormente, a retirada de material superficial. Estes micromecanismos de desgaste apontam que a ação abrasiva é observada de forma distinta em metais dúcteis e frágeis, sendo que nos primeiros metais dúcteis há ocorrência de sulcamentos e microcortes, enquanto nos materiais frágeis ocorrem microtrincamentos ou lascamentos (RIBEIRO, 2004).

Com a deterioração superficial de componentes móveis, a eficiência do equipamento é reduzida pelo fato da aparição de falhas da redução dimensional de peças gerando problemas relacionados à tolerância de ajuste e desalinhamento. Isso, se considerados somente os efeitos em caráter superficial. Ressalta-se que tais mecanismos de desgaste têm prepotência de acarretar problemas de grande agrave aos componentes do equipamento ao ponto de se tornar algo irrecuperável (SUSKI, 2004).

O abrasivo em questão é o Dióxido de Silício ( $SiO_2$ ) que chega juntamente com a cana-de-açúcar e oferece atrito entre as superfícies das camisas e o particulado. Partículas abrasivas de minerais contidas na cana-de-açúcar possuem alta dureza e, também superfícies com rugosidade e protuberância atuam da mesma forma que os fragmentos abrasivos (SUSKI, 2004).

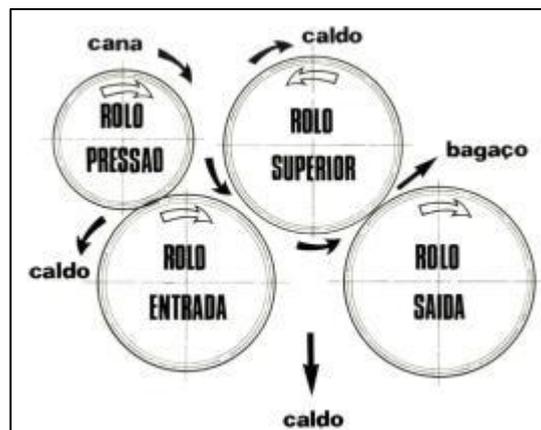
Ainda é importante destacar que existem alguns fatores causadores de derivações quanto aos efeitos de desgaste, tais como suas microestruturas, dureza do abrasivo, geometria do abrasivo e o tamanho do abrasivo (MARIN, 2010).

Ribeiro (2004) ressalta a existência de dois importantes fatores externos que influenciam o desgaste, como a velocidade de deslizamento, além da força exercida entre o abrasivo e a superfície.

### 1.1.5. Parâmetros de processo e regulagem da moenda

Uma moenda é constituída basicamente por ternos, cuja função é aplicar uma carga direcionando a passagem da matéria-prima por meio de um conjunto de rolos. As regulagens das pressões aplicadas por entre os rolos vão gerar uma abertura, pela qual a fibra passa por entre os mesmos fazendo a separação do caldo e bagaço. Esses rolos são geralmente de base metálica de aço fundido formados por um eixo e uma camisa. Um terno é formado, comumente, por 3, 4 ou 5 rolos. A moenda de referência deste estudo é composta de 4 rolos, sendo rolo de pressão, entrada, superior e de saída. Porém, em algumas literaturas é comum encontrar a nomenclatura dos rolos de entrada e saída como rolo inferior de entrada e rolo inferior de saída. A **FIGURA 3** é a representação esquemática de como funciona o sentido de giro e o sentido de fluxo das matérias-primas e seus subprodutos (GODOY,2013).

**FIGURA 3** – Modelo de posicionamento dos rolos, sentido de giro e direcionamento dos produtos extraídos



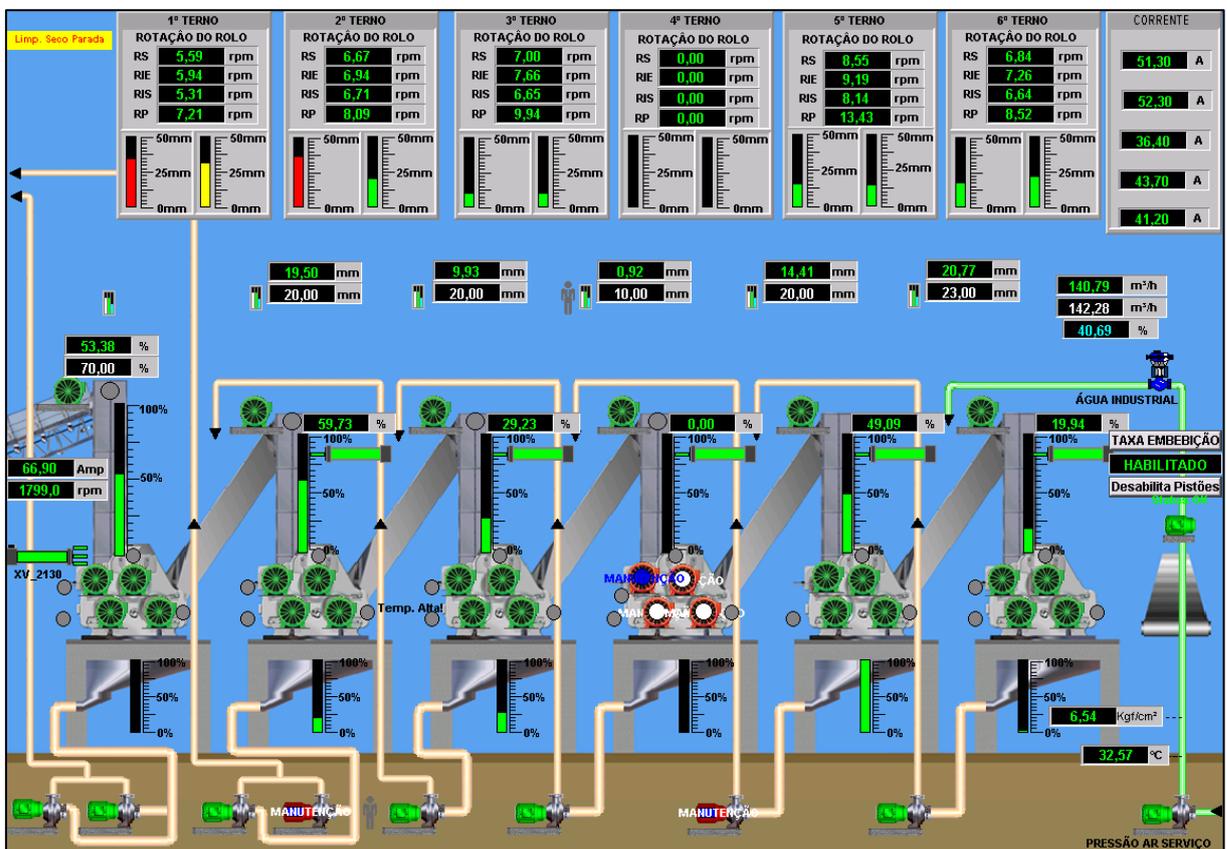
Fonte: Lemos & Tancredo, 2010.

Outros componentes importantes que compõem um terno são o castelo, a bagaceira, cabeçotes laterais, cabeçote hidráulico, pentes superior e inferior. O castelo é a estrutura que suporta os componentes do terno, sendo de característica robusta capaz de sustentar altas cargas atribuídas ao processo, de forma que se possa oferecer uma triangularização entre os rolos de acordo com os parâmetros mais adequados ao processo. A bagaceira está localizada entre os rolos superior, de entrada e saída, cuja função é direcionar o fluxo de bagaço. Os cabeçotes laterais têm o propósito de fixar e regular os rolos inferiores (entrada e saída), diferentemente do cabeçote hidráulico garantindo uma pressão constante em cada terno, de forma a compensar a oscilação da camada de bagaço. Já os pentes superior e inferior têm o desígnio de limpar as

ranhuras das camisas dos rolos e eles ficam localizados na saída dos ternos removendo o excedente de bagaço, que retornaria para a entrada do terno, o qual fica nos frisos (ranhuras), sendo que ambos possuem reguladores que garantem o posicionamento devido no decorrer da safra (CALTAROSSO, 2008).

Alguns parâmetros de processo e regulagem de moenda tem um fator preponderante, como das pressões e velocidades aplicadas por entre os rolos, como mostra a FIGURA 4. As velocidades e a pressão de cada rolo implicam na variação de área de passagem do bagaço, ainda com umidade alta, e isso, agregado ao atrito oferecido pelas partículas de alta dureza que podem interferir diretamente na performance quanto à extração de caldo, ou seja, quanto maior a pressão aplicada por entre os rolos maior será a extração. Porém, em contrapartida, ocorre um desgaste acrescido e ainda há redução na quantidade de matéria-prima a ser processada. Entretanto, com percentual de caldo extraído mais elevado, se desprezado a variação de embebição (SILVA, 2007).

FIGURA 4 – Modelo de supervisório destacando diferencial de rotação dos ternos e processo de embebição



Fonte: José Ricardo Fernandes Lima, 2016.

A aplicação da água no processo de embebição consiste em adicionar água, podendo ser água industrial (sem passar por qualquer tipo de tratamento) ou condensado de vapores contaminados no processo o intuito de diluição da sacarose, assim favorecendo a extração de caldo com maior eficiência. Porém, algumas regulagens da moenda irão motivar a eficiência no processo, dessa forma a influência operacional está entre um dos principais fatores derivantes da qualidade do processamento da cana-de-açúcar (NOGUEIRA & VENTURINI-FILHO, 2005).

Em moendas fica impossibilitado extrair o caldo das fibras além de 90%, dessa forma, a embebição é um precedente importante para a eficiência da moenda na extração. A embebição composta é bastante utilizada e consiste em aplicar água no último terno, o caldo extraído é mandado para o penúltimo terno e, assim, sucede de forma regressiva até o segundo terno, independentemente da quantidade de ternos na moenda. O primeiro terno utiliza-se somente da pressão exercida por entre os rolos para extração do caldo, já aquele extraído no primeiro terno é denominado caldo primário. O caldo extraído com intermédio da embebição é retirado do sistema no segundo terno, caracterizado como caldo secundário (SILVA, 2007).

Sendo assim, o primeiro e segundo ternos têm o desgaste mais acentuado do que os demais em função dos fatores preponderantes: pela pressão exercida por entre os rolos e pelas impurezas estarem em maior percentual. No segundo terno, o caldo embebido recebe parte das impurezas solúveis provenientes dos ternos posteriores.

## 1.2. Objetivos

O objetivo deste estudo é avaliar a influência na performance de moagem relacionado ao desgaste pelas impurezas minerais, bem como a perda de matéria das ranhuras nos ternos que sofrem com o atrito resultante desse particulado. Também determinar quais componentes sofrem mais com a problemática em questão, assim como os parâmetros de processo que influem com mais intensidade no desgaste com efeito abrasivo. Por fim, serão considerados os fatores relativos ao efeito corrosivo, ao qual também os componentes são submetidos que tendem a potencializar o desgaste por abrasão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O artigo foi desenvolvido primeiramente com a realização de pesquisas bibliográficas em livros e artigos que abordam sobre o desgaste abrasivo em rolos de moendas de usinas de cana-de-açúcar, a fim de maior aprofundamento teórico sobre o assunto. Inicialmente foram levantados todos os fatores relacionados ao desgaste abrasivo dos rolos, bem como a diminuição da extração do caldo da cana-de-açúcar. Dentre os fatores a serem avaliados priorizou-se o processo de colheita, tipo e a quantidade de impurezas encontradas na matéria-prima, parâmetros de processo e regulação da moenda.

Assim, conforme a técnica de colheita, algumas regulagens da colhedora tendem a proporcionar maior quantidade de impurezas contida na matéria-prima, com arraste e cortes irregulares, principalmente o corte de base. Esses cortes podem ser profundos arrastando impurezas, sejam raízes, pedras, areia, dentre outros. O corte superior pode apresentar excesso de folhagem. Conforme as quantidades de impurezas contidas na cana-de-açúcar, no decorrer da safra, foram coletadas amostras diárias para determinação do percentual e da quantidade contida.

O período da safra avaliado estende-se de 01/04/2016 a 07/11/2016, sendo o processo de colheita 100% mecanizado; diariamente foram realizadas análises quanto às propriedades da cana-de-açúcar como referência para parâmetros de processo a serem prescritos em função de tais alusões.

A empresa que integra este estudo possui 6 ternos, ressaltando que o primeiro e segundo ternos têm o dimensionamento de (46x84) polegadas, e os subsequentes de (42x78) polegadas. A quantidade de eletrodos usados durante o chapisco dos rolos fará parte da base de cálculo para determinar a quantidade de perda de material durante o processo. As paradas para manutenção foram calculadas para avaliar as intervenções realizadas a partir da perda de massa, assim como o desbalanceamento e outras anomalias que tendem a ocorrer nos equipamentos periféricos. A relações de rotações entre os rolos trabalham na faixa de 5,5 a 7,5 RPM e os deslocamentos ocorrem de 15 a 30 mm. A vazão de embebição é de cerca de 180 m<sup>3</sup>/h.

Outros fatores que foram considerados, o teor da fibra, assim como a umidade da mesma, elemento que possui propensão de desgastar o equipamento.

Os parâmetros de processo por meio do sistema operacional mediante o supervisor é outro fator imponente, pois foi a partir das análises laboratoriais, as quais a própria usina de processamento possui determinaram alguns parâmetros de processo. Outro ponto que foi levantado é a questão da limitação e restrições de parâmetros de trabalho de determinados equipamentos. Caso algum equipamento, por exemplo, que necessitou de alguma manutenção

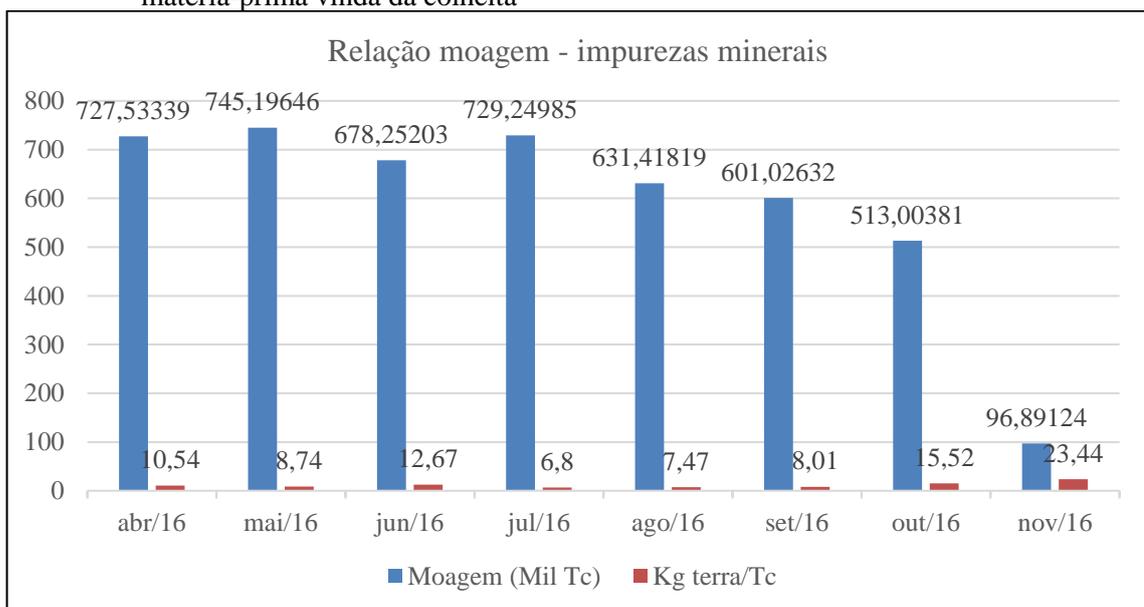
viável somente com paradas programadas de manutenção, enquanto não houve a realização para tratativa, o equipamento trabalhou com algumas restrições para manter o processo.

Portanto, fazendo a análise dos fatores descritos acima, foi possível relacionar a perda de extração de caldo na moagem com o desgaste abrasivo nos rolos devido à ação das impurezas presentes no processo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de colheita mecanizado em 100% apresentou uma quantidade de terra por tonelada de cana-de-açúcar bem significativa. Para tal controle, durante o período de safra, de 01/04/2016 a 07/11/2016, foram realizadas análises diárias das propriedades da matéria-prima para controle de parâmetros de processos. O **GRÁFICO 1** aponta as médias mensais da quantidade de terra contida na matéria-prima que chega à planta industrial e nota-se que ao final da safra, devido ao desgaste acumulativo no decorrer do ano e as condições climáticas, há maior quantidade de partículas minerais, assim a moagem de cana processada tem uma elevada redução. Sobretudo no mês de novembro que, apesar de ter tido somente uma semana de safra, teve maior quantidade de impurezas minerais em função da chuva, considerando que o tal período já apresentava um grande desgaste no equipamento.

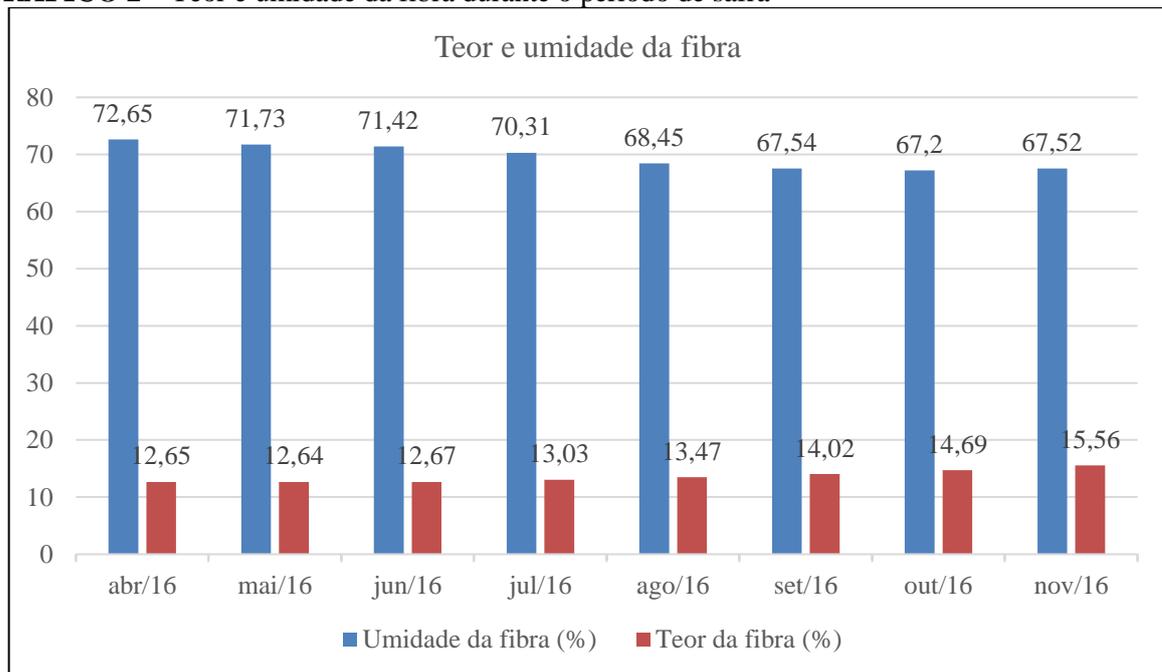
**GRÁFICO 1** – Moagem de cana-de-açúcar processada e quantidade de impurezas minerais contida na matéria-prima vinda da colheita



Fonte: Usina Boa Vista S/A, 2017.

Os valores relativos à quantidade de impurezas minerais sugerem que os parâmetros de colheita não interferem de forma significativa, mas observa-se que no período de chuvas, a partir de outubro, há maior acúmulo de impurezas minerais, portanto tal fator é influente no desgaste da moenda. Assim, a **GRÁFICO 2** mostra que a qualidade da cana-de-açúcar não sofre grandes alterações no decorrer da safra, entretanto as sujidades minerais têm um ligeiro acréscimo.

**GRÁFICO 2** – Teor e umidade da fibra durante o período de safra



Fonte: Usina Boa Vista S/A, 2017.

O período de maior concentração e quantidade de minerais no processo causam um maior desgaste quanto aos rolos, sobretudo o 1º terno. Entretanto, os demais ternos, em decorrência da embebição têm um desgaste menor devido à diluição das partículas, reduzindo o atrito e, conseqüentemente, o desgaste abrasivo durante o esmagamento da fibra. Os componentes auxiliares da moenda, tais como a bagaceira e os pentes também têm grande recorrência de manutenção e troca durante a safra, já que as ranhuras dos rolos têm acentuada perda de material e requerem uma nova regulagem de triangularização para que se tenha uma eficiência de extração de caldo e quebra da fibra. Assim, a bagaceira e os pentes têm uma limitação quanto à regulagem, exigindo uma troca constante para que se tenha uma limpeza eficiente, assim impedindo quaisquer retornos, tanto da fibra já processada quanto sujidades minerais e também impurezas vegetais. A **FIGURA 5** mostra o desgaste ao final de safra do

rolo de entrada do 1º terno e ainda que realizado o chapisco no decorrer do ano não se consegue manter a condição de performance quando comparado a um rolo recuperado.

**FIGURA 5** – Rolo de entrada do 1º terno ao fim de safra



Fonte: José Ricardo Fernandes Lima, 2016.

Fica evidente a perda de eficiência na quebra da fibra e na extração do caldo com equipamento em condições de desgaste a níveis críticos. Ainda que utilizado o processo de chapisco para repor o material perdido, houve o consumo de 4 gramas de eletrodo para cada tonelada de cana-de-açúcar processada.

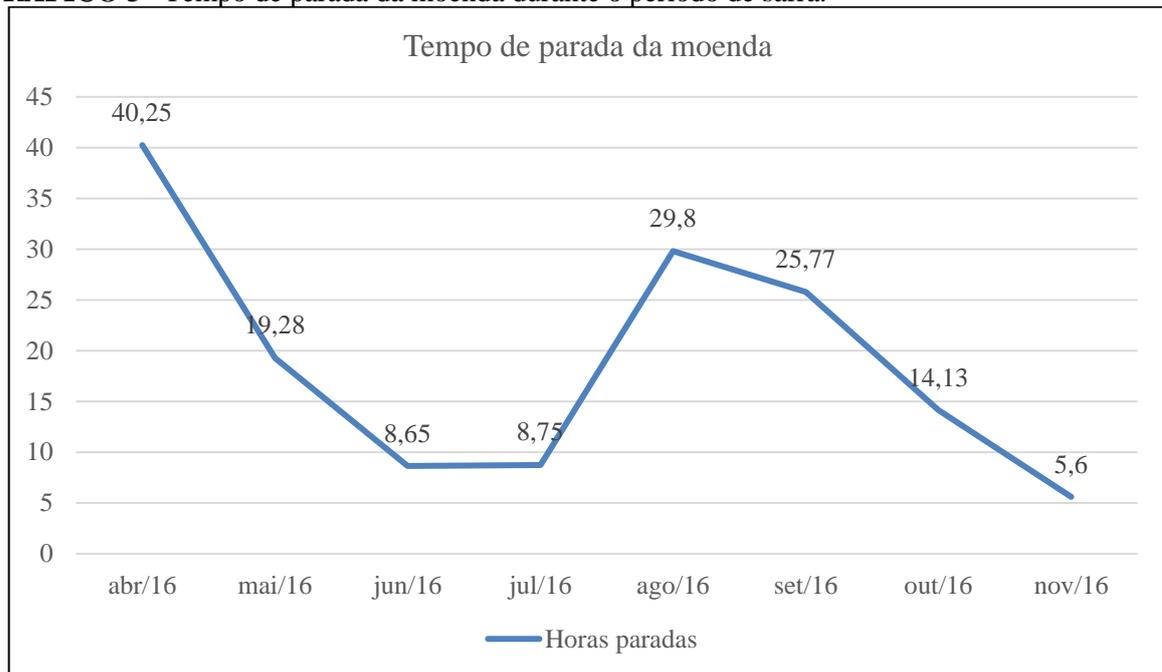
Mesmo com, a passagem dessas impurezas nos subprodutos provindos da moagem, bagaço e caldo existe a capacidade de remoção desses particulados existentes nos mesmos. O sistema de limpeza da caldeira, no grelhado (impurezas em deposição) e na limpeza dos gases (impurezas em suspensão), permite a retirada das mesmas no processo. E do caldo, por intermédio de filtros desaguadores são eliminadas as impurezas, tornando o caldo homogêneo para o processo de tratamento e concentração, ocorridos posteriormente. As variações de processo também têm notória influência quanto ao desgaste, pois culminam em paradas para manutenção ou correções de oscilações ocasionadas pelas alterações. A **TABELA 1** aponta o tempo de parada no decorrer da safra, eliminando paradas por problemas elétricos e/ou referentes a outras áreas, ou seja, levando em conta somente perdas relacionadas ao problema abordado neste trabalho.

**TABELA 1** – Tempo de parada relacionados

Mês	Tempo de parada (Horas)
Abril/2016	40,25
Mai/2016	19,28
Junho/2016	8,65
Julho/2016	8,263
Agosto/2016	29,80
Setembro/2016	23,067
Outubro/2016	11,693
Novembro/2016	4,759

Fonte: Usina Boa Vista S/A, 2017.

Sendo assim, foram totalizadas 152,23 horas paradas para manutenção para atividades recorrentes à manutenção as quais tem influência direta no problema abordado neste trabalho, da mesma forma que as interrupções recorrentes a componentes periféricos, quando suas falhas causam uma ténue agravante quanto à performance dos rolos, como apontado no **GRÁFICO 3**. O mês de abril teve o tempo de maior parada pelo fato de ocorrer em diversos ajustes no equipamento para regulagem de parâmetros de processo, tais como ajustes de instrumentação, alinhamento, balanceamento e triangularização dos ternos. Em agosto e setembro, as paradas estão relacionadas ao desgaste do equipamento e perda de eficiência na extração do caldo, apesar dos respectivos meses não apresentarem nenhum agravante quanto à quantidade de impurezas contida na matéria-prima, porém houve um pico de desgaste dos componentes que comprometeram, significativamente, o processo de extração. Apesar do mês de novembro possuir maior concentração de impurezas culminou em poucas horas de parada, pois houve somente uma semana de safra no referido mês. Deve-se considerar que ao final da safra a eficiência sofre grande déficit e não se tem um foco dado ao decorrer da safra. Sendo assim, apesar dos efeitos abruptamente interferentes é preferencial finalizar as metas de escopo para que não ocorra o prolongamento da safra assim prejudicando o período de entressafra. Os demais meses apresentam tempos de paradas dentro dos valores pré-estabelecidos no plano de safra.

**GRÁFICO 3** –Tempo de parada da moenda durante o período de safra.

Fonte: Usina Boa Vista S/A, 2017.

#### 4. CONCLUSÃO

Dadas as condições de trabalho e das características da matéria-prima e suas impurezas minerais infere-se que a variação de performance dos rolos e seus componentes periféricos, sobretudo o desgaste e redução da extração de caldo, estão diretamente vinculadas aos efeitos abrasivos pertinentes da terra presente na cana-de-açúcar. No decorrer da safra há a perda de matéria das camisas, dos rolos e conseqüentemente, a necessidade de repor tal perda, por meio do chapisco, realizado continuamente no período de safra. Para minimização dos efeitos abrasivos pode-se adotar a instalação de um sistema de lavagem da cana-de-açúcar no preparo, antes do processo de extração, ou um sistema de limpeza a seco, que também pode eliminar as impurezas vegetais comprometedoras da extração do caldo. Entretanto, fica evidente que quaisquer formas adotadas para se eliminar tais resíduos indesejados, minerais e também vegetais, haverá de paradas para manutenção dos rolos e dos componentes periféricos que sofrem com a mesma anomalia no período de safra. O consumo de eletrodos no chapisco nos deu uma média de 4 gramas por tonelada de cana, ainda que tal processo seja utilizado durante todo o período de safra é muito difícil conseguir uma repor o material perdido. E a medida que se repõe o material de forma contínua, também ocorre a perda do mesmo.

Em função da ausência de paradas programadas para realização da medição dos componentes a sofrerem desgaste na moenda este trabalho ofereceu uma lacuna a ser

preenchida em virtude da falta de dados valiosos para referenciar o problema exposto. Para futuros trabalhos a serem realizados sobre o referido tema é notória a programação de paradas em períodos regulares de tempo para coleta de dados referentes à perda de material dos rolos, assim como seus componentes periféricos, parâmetros de processos adotados em função das propriedades da matéria-prima e escopo de safra. Para enriquecimento científico é de grande valia refinar referências da morfologia do solo que estão sobre efeito de processo de colheita e assim determinar seus efeitos, da mesma forma que os efeitos culminantes da chuva durante a colheita.

# **ANALYSIS OF ABRASIVE WEAR IN MOTION ROLLS IN SUGAR CANE POWER PLANT: CASE STUDY**

*José Ricardo Fernandes Lima<sup>1</sup>*

*Daniel Fernando da Silva<sup>2</sup>*

## **ABSTRACT**

In the process of broth extraction the sugar and ethanol mills that use mills for this medium, they usually suffer abruptly with abrasive wear on the rolls of the suits and also of peripheral equipment to which they come in direct contact with the impurities. This effect occurs due to the existence of mineral impurities contained in the raw material during the harvesting process. With the loss of material of the rolls, in addition to other components culminate in the loss of efficiency of the suos as to the extraction of the broth. Wear is more pronounced in the entry rollers, especially in the first and second suits, due to intense work regimen.

Key words: broth extraction; milling of sugar cane; abrasion; mineral impurities.

## REFERÊNCIAS

- BOVI, R; SERRA, G. E. Impurezas fibrosas da cana-de-açúcar e parâmetros tecnológicos do caldo extraído. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 885-896, 1999.
- CALTAROSSO, F. **Análise de tensões em equipamentos de moagem da cana-de-açúcar usando métodos dos elementos finitos**. 2008. 204p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- FACCO, J. Z. **Influência das impurezas minerais no tratamento do caldo para açúcar cristal**. 2012. 26p. Monografia (Gestão de Produção Industrial Sucroenergética) – Universidade Federal de São Carlos, Piracicaba, 2012.
- GODOY, L. M. **Extração de caldo de cana-de-açúcar com o uso de moendas a vapor**. 2013. 115f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Fundação de Ensino Eurípedes Soares da Rocha, Marília, 2013.
- LEMOS, J. C. M; TANCREDO, M. de O. C. **Uma análise comparativa entre o difusor e a moenda na extração da sacarose**. 2010. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade de Franca, Franca, 2010.
- MACHADO, O. J. M. **Análise de falhas em martelos oscilantes dos desfibradores da indústria sucroalcooleira da região Norte-Nordeste**. 2008. 137p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- MARIN, J. J. C. **Efeito do tamanho do abrasivo no desgaste de metais**. 2010. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- MORAES, E. E. **Avaliação das perdas invisíveis de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e impurezas vegetais na colheita mecanizada**. 1992. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.
- NOGUEIRA, A.M.P; VENTURINI FILHO, W.G. **Aguardente de cana**. 2005. 71p. Monografia (Graduação em Ciências Agrônômicas) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2005.
- PEREIRA, C. H. S. **Um estudo sobre a dureza e os mecanismos de desgaste de materiais metálicos em altas temperaturas**. 2010. 66f. Monografia (Graduação em Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- RAMOS, C. R. G. et al. Qualidade da colheita mecanizada da cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento. **43º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA**, 2014, Campo Grande, MS.
- RIBEIRO, R. **Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimento soldados do tipo Fe-C-Cr utilizados na indústria sucroalcooleira**. 2004. 104p. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2004.

**SILVA, D. P. Estudo econômico do período de duração da safra de cana-de-açúcar na produção de açúcar e álcool para usinas de médio porte da região Centro-Sul do Brasil.** 2007. 97p. Monografia (Pós-graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2007.

**SILVA, F. I. G. Colheita mecânica e manual da cana-de-açúcar: histórico e análise.** Nucleos, v.6, n.1, abril, 2009.

**SUSKI, C. A. Estudo do efeito de tratamentos e revestimentos superficiais na vida de ferramentas de conformação mecânica à frio.** 2004. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.