

# SUGAR

## Application Notes



Notas de Aplicação Ano 2 - nº 2 Setembro de 2003

### Área de Moagem Eficiência e Automação

#### Introdução



Neste trabalho daremos uma rápida visão do tema da eficiência da Área de Moagem de um engenho de açúcar e como a automação repercute em sua eficiência geral.

Não vamos dizer que a automação é uma "varinha mágica" que vai resolver por si só todos os problemas encontrados na moagem da cana. Se um equipamento tem um desenho mecânico ruim, foi mal escolhido, ou os ajustes do moinho foram mal feitos, a automação sozinha não irá resolver o problema.

Porém, hoje em dia, se quisermos atingir altos níveis de extração, volumes altos e estáveis de moagem, reduções no consumo de energia, etc., devemos recorrer à automação, já que a mesma é uma ferramenta muito útil e necessária para atingir estes objetivos em qualquer Fábrica de Açúcar.

#### Colaboração

#### Área de moagem da cana

A Área de moagem (Moenda, Tandem, Trapiche) é parte integral da Fábrica de Açúcar ou Engenho Açucareiro. Ela não pode ser considerada separadamente, já que os Engenhos são fábricas de fluxo contínuo, e qualquer alteração ou falha no funcionamento repercute em todo o processo.

Esta área em especial é responsável por grande parte da estabilidade da fábrica, pois é onde começa o processo, se produz o combustível para as caldeiras e onde se define grande parte do trabalho posterior do engenho.

A operação deficiente do Tandem cria situações difíceis em outras áreas do engenho. Por exemplo, se um Tandem não consegue umidade de 50% ou inferior no bagaço, a geração de vapor é diretamente afetada. Se não houver o controle rigoroso do embeбimento, com fluxo e temperatura adequados, serão afetados a extração de sacarose (Pol) e o trabalho das áreas de Purificação e Evaporação de Caldos.

A sacarose (Pol) que não for recuperada irá para as caldeiras junto com o bagaço e se perderá definitivamente.

A área de moagem é composta por equipamentos pesados, consumidores de potência, em geral bem projetados e de rendimento aceitável para a função que realizam, mas qualquer descuido em sua operação ou manutenção prejudicará os resultados esperados.

Nos ternos é onde se realiza a moagem da cana, ou seja, a extração do caldo da cana, motivo porque seu trabalho é o ponto de partida do equilíbrio entre massa e energia da fábrica.

As funções básicas de um Tandem são as seguintes:

- Moer uma quantidade de cana conforme sua capacidade.
- Extrair o máximo do teor de caldo e Pol contidos na cana.
- Fornecer bagaço em condições favoráveis para as caldeiras ou a fabricação de Produtos Derivados.

Continua

Para realizar seu trabalho o Tandem executa duas operações básicas: **Compressão** - o caldo da cana é extraído pela compressão do fardo de cana ou do bagaço ao passar através das prensas de cada terno.

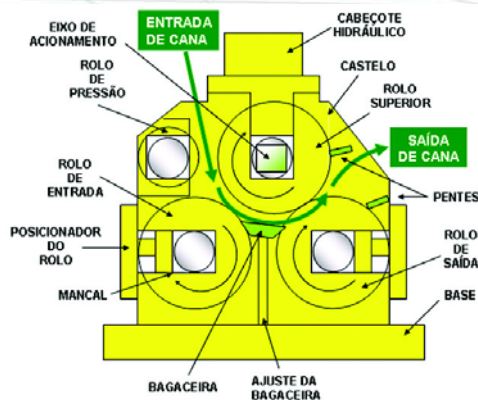
A força para comprimir o fardo é aplicada à massa superior por meio de cilindros (pistões) hidráulicos.

**Lixiviação** - se produz na lavagem do colchão com água e os caldos do embebimento composto em contracorrente à direção do colchão de bagaço.

A transferência de massa que se produz, extrai a sacarose (Pol) contida nas células fibrosas da cana.

O grau de eficiência (capacidade, extração, estabilidade, etc.) na operação do tandem depende da maneira em que se manejam as principais variáveis operativas da área, as quais são:

- 1 - Ajuste dos ternos
- 2 - Velocidade dos equipamentos motrizes (motores, turbinas, etc.)
- 3 - Pressão hidráulica
- 4 - Água de embebimento
- 5 - Embebimento composto (maceração)
- 6 - Estabilidade
- 7 - Alimentação
- 8 - Lubrificação
- 9 - Limpeza e desinfecção



Preparação e Moagem de Cana

Na operação do tandem é necessário garantir a alimentação estável como primeiro passo. Os "vazios" na esteira alimentadora provocam uma queda considerável do Índice de Preparação e do Índice de Células abertas, já que ao entrar nas facas e desfibradores em um colchão baixo, estes não podem preparar corretamente a cana. Os colmos são também prejudiciais, pois podem provocar buchas nos niveladores ou nas facas, que podem criar situações como a paralização do processo, repercutindo negativamente em toda a fábrica, com o correspondente **prejuízo econômico**.

Atualmente generalizou-se a alimentação automática do tandem, que consiste em regular a velocidade da(s) esteira(s) alimentadora(s) em função de manter constante a quantidade de cana que entra na primeira unidade de moagem. Além de proteger niveladores, facas e desfibradores das prejudiciais buchas, mede-se e controla-se a água de embebimento, a flutuação da massa superior de cada terno, etc. Para manter-se estável a alimentação da cana no primeiro terno é preciso manter a esteira separadora cheia de cana, e automatizar a(s) esteira(s) elevadora(s). Isto garante uma estabilidade ótima na

moagem. Não pode haver eficiência (cana moída e extração de Pol) se não for cumprido este requisito fundamental.

Se se deseja obter todo o potencial de um tandem, torna-se importante a existência de esteiras que permitam juntar fardos de cana de 1.5m de altura. Para isto, o ângulo de inclinação deve ser inferior a 15 graus. Também é importante ter nas esteiras equipamentos motrizes com boa variação de velocidade, quase 0 a 1,5 vezes da média necessária, e que respondam ao controle automático da alimentação.

A preparação da cana consome muita potência, motivo pelo qual manter a alimentação estável significa eliminar as flutuações desnecessárias no consumo de potência, as quais tendem a desestabilizar a produção.

As flutuações das massas superiores é um indicador que deve ser medido continuamente para manter-se nos valores normais que aparecem nas tabelas para cada tipo de moenda. Isto é feito, em caso de necessidade, ajustando-se os volumes unitários de saída (o volume dinâmico requerido na saída de um terno para moer uma tonelada de fibra) para abrir ou fechar as saídas dos ternos e conseguir as flutuações desejadas.

A Smar produz um medidor eletrônico de nível, altamente eficiente, com alto grau de proteção, saída 4 a 20 mA e indicação de porcentagem, milímetros ou polegadas de variação.

O valor do volume unitário de saída escolhido para um terno é correto quando, moendo na proporção requerida, com a velocidade adequada e na norma de pressão hidráulica aplicada, são obtidos os valores de flutuação que aparecem nas tabelas de cada unidade do tandem.

- Flutuações acima da normal aumentam o consumo de potência, a reabsorção e os esforços mecânicos na zona dos acoplamentos.
- Com flutuações inferiores corre-se o risco de que o terno não flutue quando ocorrer uma diminuição na proporção da moagem, ou de que os dentes desgastados das massas ( que flutuam devido aos dentes bons, que são mais salientes) não comprimam o fardo de cana.

## Eficiência do Tandem

A moagem da cana é um processo de extração complexo no qual intervêm um grupo de variáveis fundamentais interrelacionadas. Ao comparar a eficiência de uma moenda com outros equipamentos do engenho, como bombas, redutores de velocidade, além de uma caldeira, chegamos à conclusão que uma moenda é um equipamento muito ineficiente, porque a energia necessária para realizar um trabalho útil (extração do caldo) é muito alta comparada com o resultado final.

Une-se a esta dificuldade o pouco tempo disponível para realizar o processo de lixiviação, aspecto fundamental para se obter uma boa extração e diminuir o elevado consumo de energia.

Outro complicador do processo é a qualidade da matéria prima (sua composição) e as constantes variações da mesma.

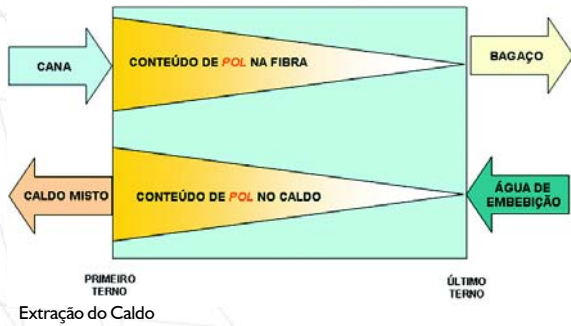
É fácil compreender que os problemas relativos a esta área (com relação a avaliações integrais de eficiência) não são fáceis de resolver dentro de um nível aceitável.

Esta a razão fundamental que obriga a ter um conhecimento e um controle profundos sobre todas as condições e parâmetros necessários para conhecer e avaliar os resultados reais de um tandem.

Não podemos esquecer que a perda de Pol na cana de um tandem representa uma alta porcentagem das perdas totais de Pol de um Engenho Açucareiro.

Um tandem equipado com chutes de alimentação (pelo menos no primeiro e último ternos) com seu nível automatizado, garante a normalidade dos seguintes aspectos determinantes para uma moagem eficiente:

- Alta porcentagem de extração de caldo no primeiro terno
- Aplicação de pressões hidráulicas em sua totalidade
- Uniformidade dos colchões em trânsito
- Máxima aplicação de água de embebibimento em quantidade e temperatura



## Capacidade de moagem

Na literatura açucareira clássica existem vários autores que apresentam equações que pretendem calcular, de forma direta e única, a capacidade de uma Unidade de Moagem.

Há opiniões de que esse não é o enfoque mais correto do problema, já que uma unidade de moagem é uma instalação muito flexível quanto à sua capacidade, e esta representa um valor proporcional entre a quantidade de cana a ser moída e a extração de pol.

Isto significa que a mesma Unidade de Moagem pode alcançar valores de moagem comparativamente altos, com prejuízo da extração e, inversamente, pode otimizar-se a extração sacrificando-se o volume da moagem. Portanto, a solução ideal do problema estaria em determinar o valor intermediário em que a unidade de moagem possa assimilar o maior volume possível de cana com valores razoáveis de extração de sacarose (pol), tendo como premissa fundamental a **eficiência econômica**.

Muitas pessoas acham que o caminho correto a seguir é analisar todos os elementos que tenham incidência no trabalho da Unidade de Moagem (variáveis de estado, ajustes mecânicos, etc.) que está sendo analisado especificamente, e obter o nível ideal de capacidade conforme suas possibilidades, para compará-lo posteriormente com o grau de aproveitamento real a que a unidade está submetida. Vamos utilizar para esta análise o "Fator de Espessura do Colchão" (G), que é o indicador da carga com que funciona cada terno de um tandem, e que relaciona sua razão de moagem com a velocidade tangencial dos rolos.

Ele é expresso por:

- (Tm fibra/hora)/(m2 rolo/minuto)
- (@fibra/hora)/(pé2 rolo/minuto)
- (1 @ = 25 lbs.)

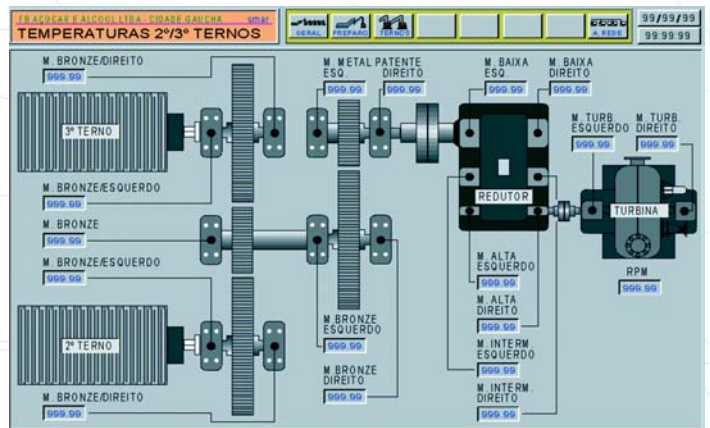
Para converter uma unidade em outra, pode-se usar:

Multiplicar	Por	Para obter
(Tmfibra/h)/(m <sup>2</sup> /minuto)	8.08256	(@fibra/h)/(pé <sup>2</sup> /minuto)
(@fibra/h)/(pé <sup>2</sup> /minuto)	0.12372	(Tmfibra/h)/(m <sup>2</sup> /minuto)

Para obter-se os dados necessários serão feitas comparações entre o "Fator Grossura Ótima de Colchão"(Go) de um tandem, e o "Fator Grossura Real de Colchão"(Greal), com o qual funciona atualmente.

Se os números forem iguais ou semelhantes, a unidade de moagem opera no seu nível de capacidade correto, no qual existe um equilíbrio aceitável entre a quantidade de cana moída e a extração. Se o Fator de Grossura Real do Colchão for maior do que o ótimo, o Tandem estaria sobrecarregado, prejudicando a eficiência em função da quantidade de cana moída.

Se, ao contrário, o Fator de Grossura Real do Colchão for menor



do que o ótimo, é indicação de que está moendo abaixo de suas possibilidades e que a eficiência pode ser melhorada.

O problema se reduz a encontrar o "Fator de Grossura Ótima de Colchão (Go) para cada unidade de moagem.

O "Fator de Espessura Ótima do Colchão" é calculado pela seguinte expressão:

$$Go = K * G$$

K = Fator que depende da preparação da cana e da capacidade de alimentação do Tandem.

G = Fator de Grossura do Colchão, dado por um nomograma em que se analisam todas as outras condições e variáveis de estado do Tandem.

Para calcular o "Fator de Grossura Real do Colchão" (Greal) se utiliza a seguinte fórmula:

$$Greal = (M * F) / (24 * L * V)$$

M = moagem diária, @/dia

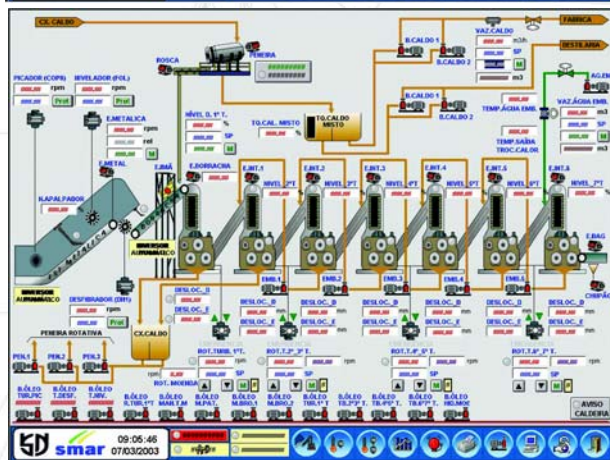
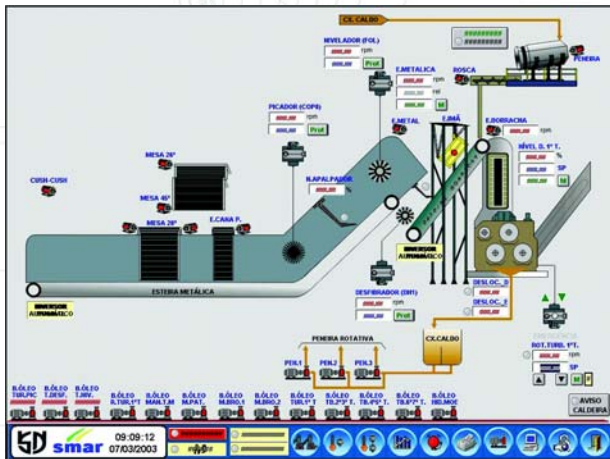
F = fração de fibra de cana

L = comprimento dos rolos, em pés

V = velocidade tangencial dos rolos do primeiro terno em seu diâmetro médio, em pé/minuto.

Também podemos calcular a "Capacidade Ótima de Moagem de um Tandem"(Mo), utilizando Go:

$$Mo = (Go * 24 * L * V) / (F)$$



Com estes valores pode-se realizar um diagnóstico de um tandem:

- Se G é superior a 110% de Go: O tandem está sobrecarregado, com tendência a diminuir a eficiência e aumentar interrupções
- Se G = Go com desvio de ± 10%: O tandem está operando em sua capacidade correta
- Se G é inferior a 90% de Go: O tandem está subutilizado e gastando recursos inutilmente

O consumo de potência de um terno de três rolos é determinado pela seguinte expressão:

$$HP = C * (V^{1.219} * T^{0.918}) / (71.888)$$

HP = Potência consumida por um terno e sua transmissão, medida nos terminais de um motor elétrico (HP)

C = Fator de casca, depende do grau de preparação da cana, assim como das variedades que são moídas.

V = Velocidade tangencial dos rolos em seu diâmetro médio

T = Carga hidráulica total aplicada, em toneladas curtas.

Os valores de G podem oscilar geralmente entre 7 e 14. Para moer à razão de G superior a 10 o Tandem deve estar complementado com vários fatores, entre eles a Alimentação Automática e um controle rígido sobre todos os parâmetros de operação.

Utilizando vários fatores de G obtemos variações de moagem com igual velocidade.

Caso No. 1	G	Moagem	% de fibra	Comprimento dos rolos	Velocidade
1	7.5	400,000 @	14	7 pés	44 pé/min.
2	10	553,333 @	14	7 pés	44 pé/min.
3	12	640,000 @	14	7 pés	44 pé/min.

Também se pode manter a moagem reduzindo-se a velocidade.

Caso No. 1	G	Moagem	% de fibra	Comprimento dos rolos	Velocidade
1	7.5	400,000 @	14	7 pés	44 pé/min.
2	10	400,000 @	14	7 pés	33 pé/min.
3	12	400,000 @	14	7 pés	28 pé/min.

Com isto podemos tirar as seguintes conclusões:

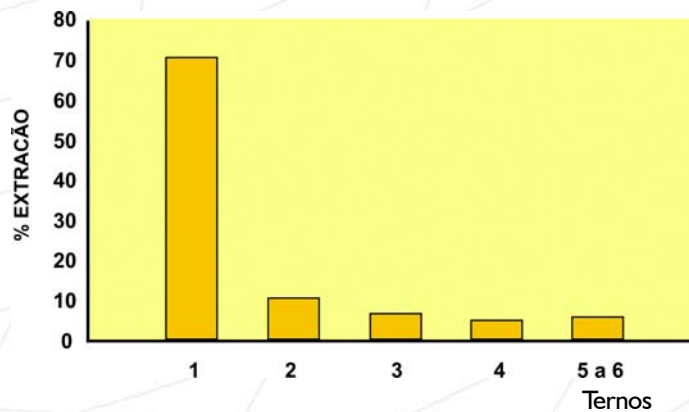
- A moagem pode ser aumentada com velocidade igual e consumo similar de potência, ou pode manter-se a mesma, com velocidades muito menores.
- A safra pode ser mais curta e localizada no período ótimo de conteúdo de pol na cana.
- A necessidade de grandes ampliações diminui.

Aplicando-se a fórmula de consumo de potência veremos como é a influência das variações de velocidade no consumo.

Para um terno triturador (Primeiro terno)

C = 1.5

T = 500 t



Comportamento da Extração na Área de Moagem

Moagem	% de fibra	G	Velocidade	Consumo de HP	Economia de HP
400,000 @	14	7.5	44 pé/min.	645	–
400,000 @	14	10	33 pé/min.	450	195
400,000 @	14	12	28 pé/min.	370	275

Utilizando-se três valores diferentes de G mostraremos a economia de energia de um Tandem, obtida ao moer 400.000

@/dia, reduzindo-se a velocidade dos rolos de 44 pé/min. (G = 7.5) a 33 pé/min. (G = 10) e a 28 pé/min. (G = 12)

Terno No.	G = 7.5 HP consumidos	G = 10 HP consumidos	G = 12 HP consumidos
1	645	450	370
2	430	300	250
3	430	300	250
4	430	300	250
5	430	300	250
6	430	300	250
Total HP	2795	1950	1620

Economia ao passar de G = 7.5 a G = 10

HP economizados = 2795 - 1950 = 845 HP

Kw economizados = 845 \* 0.746 = 630 Kw

Economia ao passar de G = 7.5 a G = 12

HP economizados = 2795 - 1620 = 1175 HP

Kw economizados = 1175 \* 0.746 = 876 Kw

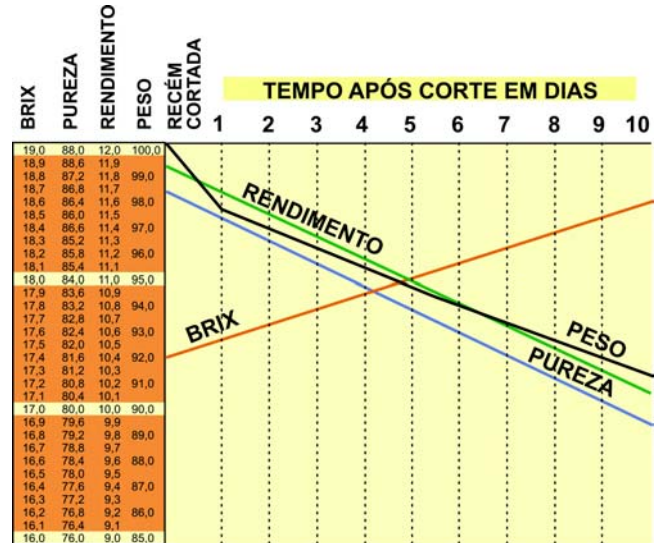
Para trabalhar em altos regimes de carga, G superior a 10, a unidade de moagem deve ter as seguintes condições necessárias:

- Cana com o comprimento previsto
- Boa preparação de cana
- Chutes Donelli ao menos nos primeiro e último ternos
- **Automação do Tandem, incluindo a alimentação automática**
- Forte aplicação de solda aos rolos
- Rolos alimentadores (quarto rolo)
- Condutor intermediário de arrasto

Com os fatores anteriores pode-se obter:

- Alta extração na primeira unidade de moagem.
- Aplicação das pressões hidráulicas em sua totalidade.
- Uniformidade nos colchões em trânsito.
- Máxima aplicação de água de embebedimento em quantidade e temperatura.
- Maiores moagens com o mesmo equipamento.
- Safras mais curtas com melhor rendimento industrial.

- Condições ótimas de operação devido à automação e à medição das variáveis principais.
- Menor perda de tempo.
- Economia de energia ao obter-se moagens iguais em velocidades menores.
- Permite a utilização de equipamentos matrizes de menor capacidade.
- A moagem pode ser aumentada com o aumento da velocidade ou pela utilização de rolos maiores.



Curvas de Brix, Pureza, Rendimento e Peso da cana-de-açúcar

Colaboração de: Luis R. Salazar Santos

Engenheiro de Controle e Automação

Empresa: "Tisca SRL" - Representante Smar no Paraguai

Assessor Técnico da "Azucarera Paraguaya S.A."

## Subsidiárias

### SMAR SERTÃOZINHO

Tel.: (16) 3946-3599  
Fax: (16) 3946-3528  
dncom@smar.com.br

### SMAR INTERIOR-SP

Tel.: (16) 3946-3522  
Fax: (16) 3946-3528  
smarinteriorsp@smar.com.br

### SMAR ARAÇATUBA

Tel.: (18) 621-7776  
Fax: (18) 621-7776  
smar.aracatuba@smar.com.br

### SMAR SÃO PAULO

Tel.: (11) 3095-2130  
Fax: (11) 3819-3636  
smar.sp@smar.com.br

### SMAR PIRACICABA

Tel./Fax: (19) 3435-3518  
smar.piracicaba@smar.com.br

### SMAR RECIFE

Tel.: (81) 3231-6521/3421-3426  
Fax: (81) 3231-6987  
smar.pe@smar.com.br

### SMAR BELO HORIZONTE

Tel.: (31) 3225-9028  
Fax: (31) 3225-9576  
smar.mg@smar.com.br

### SMAR UBERLÂNDIA

Tel.: (34) 3231-2011  
Fax: (34) 3231-2092  
smar.uberlandia@smar.com.br

### SMAR SALVADOR

Tel.: (71) 358-7972  
Fax: (71) 358-5745  
smar.ba@smar.com.br

### SMAR RIO DE JANEIRO

Tel.: (21) 2438-0527  
Fax: (21) 2438-4697  
smar.rj@smar.com.br

### SMAR CURITIBA

Tel.: (41) 242-1028  
Fax: (41) 242-1065  
smar.sul@smar.com.br

### SMAR MARINGÁ

Tel./Fax: (44) 222-7642  
smar.maringa@smar.com.br

**smar**  
www.smar.com.br