

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEANDRO MÓVIO GODOY

**EXTRAÇÃO DE CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM USO DE
MOENDA A VAPOR**

MARÍLIA
2013

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEANDRO MÓVIO GODOY

**EXTRAÇÃO DE CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM USO DE
MOENDA A VAPOR**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Geraldo Cesar Meneghello

MARÍLIA
2013

Godoy, Leandro M3vio

Extra3o de caldo de cana-de-a3u3car com uso de moenda a vapor / Leandro M3vio Godoy; orientador: Geraldo Cesar Meneghello. Mar3lia, SP: UNIVEM, 2013.

115 f.

Trabalho de Curso (Gradua3o em Engenharia de Produ3o) - Curso de Engenharia de Produ3o, Funda3o de Ensino "Eur3pides Soares da Rocha", mantenedora do Centro Universit3rio Eur3pides de Mar3lia – UNIVEM, Mar3lia, 2013.

1. Cana-de-a3u3car 2. Moagem 3. Extra3o 4. OpenCell

CDD: 658.577



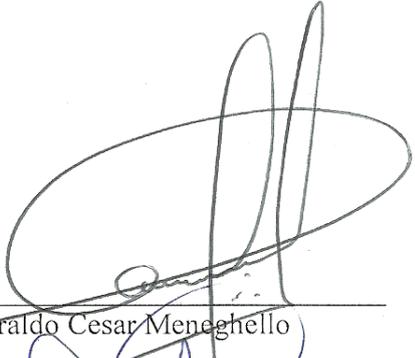
FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM
Curso de Engenharia de Produção.

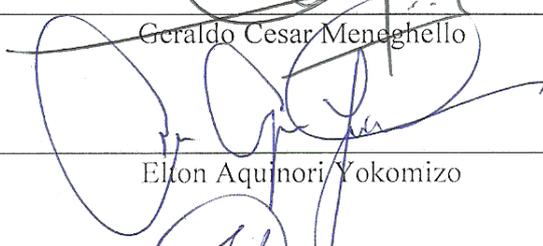
Leandro Movio Godoy - 45238-6

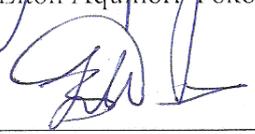
TÍTULO "Extração de caldo de cana-de-açúcar com uso de moenda a vapor. "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 10

ORIENTADOR: 
Geraldo Cesar Meneghello

1º EXAMINADOR: 
Elton Aquinori Yokomizo

2º EXAMINADOR: 
Leandro Menegatti Baraldi

Marília, 03 de dezembro de 2013.

AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente à Deus pelo
esplendor da vida.*

*À minha mãe e ao meu irmão pela criação
e ensinamentos que me deram.*

*Aos amigos que Deus proporcionou que
tivesse ao longo desta trajetória.*

*À minha esposa Mariana, pelo apoio,
compreensão e carinho.*

*E à Univem e seus professores pelo ensino e
serviço prestados.*

GODOY, Leandro Móvio. **Extração de caldo de cana-de-açúcar com uso de moenda a vapor**. 2013. 115 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

RESUMO

O setor sucroalcooleiro e de bioenergia tem se tornado cada vez mais visível no mercado, uma vez que a demanda por açúcar eleva-se, o consumo de álcool também se mantém em constante emersão tendo em vista ser derivado de uma fonte renovável e a necessidade de energia elétrica devido às oscilações no balanço hídrico nacional. Portanto as usinas investem cada vez mais em melhorias e buscam com maior intensidade a excelência de rendimentos nos seus setores e, um dos principais, é o de extração do caldo da cana-de-açúcar. Em vista deste contexto esse trabalho tem o objetivo de explorar os conceitos utilizados no setor, os equipamentos necessários para extração a partir de acionamento a vapor e os controles e procedimentos mais adequados para eficácia no processo. Esse trabalho é de caráter exploratório e foi desenvolvido a partir de dados secundários oriundos de opiniões, análises, figuras e gráficos com intuito de expor ao leitor uma visão mais sucinta sobre o tema ao término da leitura.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Moagem. Extração. OpenCell.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metodologia do trabalho	19
Figura 2 – Fórmula estrutural da sacarose.....	21
Figura 3 – Estrutura do colmo da cana-de-açúcar	22
Figura 4 – Estrutura do preparo e alimentação.....	26
Figura 5 – Guindaste Hilo	27
Figura 6 – Tombamento de carga pelo Hilo	28
Figura 7 – Mesa alimentadora	30
Figura 8 – Mesa alimentadora	30
Figura 9 – Lavagem da cana.....	32
Figura 10 – Detalhe da esteira metálica sob vista lateral	33
Figura 11 – Esteira metálica sob vista frontal	34
Figura 12 – Detalhe das taliscas	35
Figura 13 – Desenho da esteira metálica	35
Figura 14 – Picador	36
Figura 15 – Sentido da rotação do picador	37
Figura 16 – Tipos de facas.....	38
Figura 17 – Facas novas, gastas e recuperadas.....	38
Figura 18 – Acionamento a vapor	39
Figura 19 – Relação entre cana e cana picada.....	40
Figura 20 – Detalhe do tambor alimentador metálico	41
Figura 21 – Tambor metálico	42
Figura 22 – Desfibrador de cana.....	43
Figura 23 – Placa desfibradora	43
Figura 24 – Martelos	44
Figura 25 – Martelos novos, gastos e recuperados	44
Figura 26 – Local do espalhador	45
Figura 27 – Desenho do espalhador frontal e lateral	46
Figura 28 – Eletroímã.....	47
Figura 29 – Terno de moenda.....	48
Figura 30 – Esquematização de terno de moenda	49
Figura 31 – Castelo de Moenda.....	50

Figura 32 – Base da moenda	51
Figura 33 – Distância entre castelos	51
Figura 34 – Castelo Reto	52
Figura 35 – Esquemática dos rolos e sentido da rotação	53
Figura 36 – Posição dos rolos no castelo.....	54
Figura 37 – Eixo do rolo.....	55
Figura 38 – Eixo e Camisa	55
Figura 39 – Camisa.....	56
Figura 40 – Frisos	56
Figura 41 – Picotes dos frisos.....	57
Figura 42 – Posição do Rolo de Pressão	58
Figura 43 – Rolo superior com as flanges	59
Figura 44 – Flange desgastada	60
Figura 45 – Mancal.....	61
Figura 46 – Casquilhos	61
Figura 47 – Detalhe das frestas de refrigeração	62
Figura 48 – Detalhe do posicionamento dos cabeçotes laterais	62
Figura 49 - Detalhe do posicionamento dos cabeçotes hidráulicos.....	63
Figura 50 – Exemplo de Sistema de Pressão Hidráulica.....	64
Figura 51 – Garrafa hidráulica.....	65
Figura 52 – Posição da bagaceira	66
Figura 53 – Bagaceira.....	67
Figura 54 – Pentes	68
Figura 55 – Posicionamento dos pentes	68
Figura 56 – Angulação dos pentes.....	69
Figura 57 – Posição da Calha Donnelly	70
Figura 58 – Calha Donnelly	71
Figura 59 – Esteira Intermediária	73
Figura 60 – Esteira Intermediária	74
Figura 61 – Embebição Simples.....	75
Figura 62 – Embebição Composta	75
Figura 63 – Exemplo de gamelão	76
Figura 64 – Esquemática de uma turbina a vapor.....	79

Figura 65 – Turbina a vapor	79
Figura 66 – Redutor de Velocidade.....	80
Figura 67 – Exemplo de conjunto de engrenagens do redutor	81
Figura 68 – Layout com três pinhões	83
Figura 69 – Layout com dois pinhões	84
Figura 70 – Exemplo de Acoplamento de luvas e palito.....	85
Figura 71 – Acionamento elástico.....	86
Figura 72 – Rodetes.....	87
Figura 73 – Posição dos rodetes (terno sem rolo de pressão).....	87
Figura 74 – Recuperação de Pentas.....	93
Figura 75 – Recuperação de rodetes.....	93
Figura 76 – Comparativo da quantidade de cana entre os frisos	94
Figura 77 – Local de aplicação do Chapisco no friso.....	95
Figura 78 – Aplicação correta de chapisco.....	95
Figura 79 – Localização da Bagaceira.....	101
Figura 80 - Painel Inteligente de Turbina dos ternos da Moenda.....	105
Figura 81 – Sistema de Supervisão	106

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

- °C: Grau Centígrados ou Grau Celsius
- °Z: Grau Zucker
- π : Número pi (aproximadamente 3,14159265)
- A: Tonelada de cana por hora
- A': Altura do rolo superior em relação aos dentes da bagaceira
- A36: Tipo de liga de aço do sistema ASTM
- Ap: Área do pistão
- AR: Açúcares Redutores
- ART: Açúcares Redutores Totais
- ART%bag: Açúcares Redutores Totais do bagaço
- ART%cana: Açúcares Redutores Totais da cana
- ASTM: American Society for Testing and Materials
- AT: Aproveitamento de tempo
- BC: Porcentagem de bagaço na cana (Bagaço%cana)
- cm: Centímetro
- cm²: Centímetro quadrado
- CV: Cavalo-vapor
- d: Densidade da cana desfibrada
- D: Diâmetro do rolo
- d': Densidade do caldo
- d'': Densidade da cana antes do picador
- dp: Diâmetro do pistão
- Dsp = Diâmetro externo do rolo de saída
- Dtp = Diâmetro externo do rolo superior
- E: Extração
- E': Abertura de entrada do terno
- F: Capacidade de levantamento do Hilo em toneladas
- FB: Fibra do bagaço (fibra%bagaço)
- FC: Fibra da cana (fibra%cana)
- Fermentec: Empresa de Tecnologia do Setor Sucroalcooleiro
- Fp: Força aplicada pelo pistão no mancal

g: Grama
h: Altura da camada de cana
i: Peso de cana não picada
k: Proporção de cana picada
kcal: Quilocaloria
kg: Quilograma
kgf: Quilograma-força
IHM: Interface Homem-Máquina
L: Comprimento da esteira metálica ou comprimento do rolo da moenda
LS: Leitura Sacarimétrica
M': Altura no plano axial vertical do rolo superior
m: Metro
m²: Metro quadrado
m³: Metro cúbico
min: Minuto
mm: Milímetro
mL: Mililitro
P: Passo do picador
PB: Pol do bagaço (Pol%bagaço)
PC: Pol da cana (pol%cana)
ph: Pressão hidráulica
pH: Potencial de Hidrogênio Iônico
PZ: Pureza
r: Regulagem da navalha (distância entre a esteira e a ponta da faca)
RPM: Rotação por minuto
S: Superfície
S': Abertura de saída do terno
T': Distância do rolo de saída em relação à parte posterior da bagaceira
TC: Tonelada de cana
TCH: Tonelada de cana por hora
TE: Tempo efetivo
Ton: Tonelada
TT: Tempo total

u: Velocidade do condutor de cana

UB: Umidade bagaço final

W: Constante entre abertura de entrada e saída do terno

Z': Altura do rolo superior em relação à parte posterior da bagaceira

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Composição da cana-de-açúcar	23
Gráfico 2 – Extração.....	72
Gráfico 3 – Característica da matéria-prima correlacionada com a Extração	98
Gráfico 4 – Curva de Brix do caldo total	102
Gráfico 5 – Curva de Brix dos rolos.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de Maturação	24
Tabela 2 – Dimensões dos rolos das moendas	89
Tabela 3 – Capacidade Influenciada pela rotação dos rolos.....	89
Tabela 4 – Capacidade Influenciada pela densidade da cana desfibrada	90
Tabela 5 – Capacidade Influenciada pela fibra da cana	90
Tabela 6 – Capacidade mais próxima da realidade da empresa	91
Tabela 7 – Perda de pol no bagaço x Umidade do bagaço	99

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
RELEVÂNCIA DO ESTUDO	16
Objetivo Geral	17
Objetivos Específicos	17
Justificativa.....	18
Metodologia.....	18
Estrutura do trabalho	19
CAPÍTULO 1 – CONCEITOS E COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	20
1.1 Brix	20
1.2 Pol.....	20
1.3 Pureza	20
1.4 Sacarose.....	21
1.5 Fibra.....	21
1.6 Impurezas	22
1.7 Composição da Cana	23
1.8 Maturação e Deterioração.....	23
1.9 ART – Açúcares Redutores Totais	24
CAPÍTULO 2 – PREPARO E ALIMENTAÇÃO.....	26
2.1 HILO.....	27
2.2 Mesa Alimentadora	29
2.3 Lavagem de cana	31
2.4 Esteira Metálica ou Condutor de cana.....	32
2.5 Picador ou Navalha.....	36
2.7 Desfibrador	40
2.8 Espalhador ou Nivelador	44
2.9 Eletroímã ou Separador Magnético	46
CAPÍTULO 3 – MOAGEM	48
3.1 TERNO.....	49
3.1.1 Castelo	50
3.1.2 Rolos.....	52
3.1.2.1 Eixo.....	54
3.1.2.2 Camisa	55
3.1.2.3 Rolo de Pressão	57
3.1.2.4 Rolos Inferiores	58
3.1.2.5 Rolo Superior.....	59
3.1.2.6 Flanges.....	59
3.1.3 Mancais e Casquilhos	60
3.1.4 Cabeçotes.....	62
3.1.5 Sistema Hidráulico	63
3.1.6 Bagaceira	65
3.1.7 Pentes.....	67
3.2 Calha Donnelly	69

3.3 Extração	71
3.4 Esteira Intermediária de Arraste	73
3.5 Embebição	74
3.6 Gamelão.....	76
CAPÍTULO 4 – ACIONAMENTO DAS MOENDAS A VAPOR	77
4.1 GERAÇÃO DE VAPOR	77
4.2 Cogeração de Energia.....	78
4.3 Turbina	78
4.4 Redutor de velocidade	80
4.5 Engrenagem	81
4.6 Acoplamento.....	85
4.7 Rodete.....	86
CAPÍTULO 5 – CONTROLE	88
5.1 CAPACIDADE	88
5.2 Produção	91
5.3 Recuperação.....	92
5.4 Chapisco	94
5.5 Perda de Pol no Bagaço	96
5.6 Umidade do bagaço	98
5.7 Regulagem.....	99
5.7.1 Regulagem das aberturas de entrada e saída	99
5.7.2 Regulagem da bagaceira.....	100
5.8 Curva de brix	102
5.9 Automação.....	104
5.10 Paradas, Reduções e Embuchamentos.....	107
CONCLUSÃO.....	108
REFERÊNCIAS	110

INTRODUÇÃO

O processo de extração de caldo da cana-de-açúcar teve início no Brasil a partir do século XVI com os engenhos e desde então as empresas produtoras de açúcar e álcool têm se adequando com as melhorias provindas com o tempo como motor a vapor, motor elétrico, entre outras para aprimorar a produtividade e melhorar a eficiência da extração do caldo da cana.

A extração do caldo é uma operação unitária nas usinas que consiste em separar da cana-de-açúcar o caldo da fibra, e pode ser realizada basicamente por dois processos: utilização de moendas ou difusores.

Este trabalho traz como tema o processo e equipamentos utilizados para a extração de caldo por intermédio de moendas acionadas a vapor.

O trabalho, além de expor dados secundários, terá como base uma usina que possui uma moenda de seis ternos e outra com cinco, sendo ambas com três conjuntos de turbinas a vapor e a moagem em torno de 700 toneladas de cana por hora.

Relevância do estudo

Este estudo tem alta importância, pois a extração da cana é o primeiro processo unitário na fabricação de açúcar e álcool e uma boa extração resulta em maior rendimento à empresa, ou seja, quanto mais caldo se extrair da cana mais caldo estará disponível para produção e menos caldo se perderá no bagaço.

Atualmente a empresa consultora Fermentec recomenda que usinas que utilizam moenda devem ter um índice de extração de 96%, ou seja, 4% do “açúcar” contido no caldo é deixado de extrair do bagaço. Supondo os seguintes números:

- Rendimento da fabricação de açúcar de 95%;
- Moagem na safra de 3.000.000 ton de cana (semelhante à empresa estudada);
- Perda em ART prevista no bagaço de 4% e perda realizada em ART na safra no bagaço de 4,1%, portanto perda acima do previsto de 0,1%;
- Quantidade de ART na cana de 15,5%;
- $ART = \text{açúcar bruto} * 0,993 * 1,0526$;
- Preço de venda do açúcar bruto de R\$ 950,00/ton.

Calculando:

- $3.000.000 * 15,5\% = 465.000$ ton de ART moído;
- $465.000 * 0,1\% = 465$ ton de ART perdido no bagaço;
- $465 * 95\% = 441,75$ ton de ART que poderia ser transformado em produto final;
- $441,75 / (0,993 * 1,0526) = 439,71$ ton de açúcar bruto;
- $439,71 * 950 = R\$ 417.724,50$ em potencial perdido no bagaço.

Portanto, pode-se perceber que a perda de apenas 0,1% na extração custará para a empresa um prejuízo de mais 400 mil reais.

Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo apresentar e explicar os conceitos, equipamentos, técnicas e controles utilizados no processo unitário de extração de caldo de cana para garantir que ao término da leitura haja pelos leitores um conhecimento maior sobre o tema exposto e sobre o setor sucroalcooleiro.

Objetivos Específicos

O trabalho tem como objetivos específicos:

- Apresentar os conceitos usados no setor sucroalcooleiro;
- Apresentar a composição da matéria-prima, bem como suas características;
- Explicar os equipamentos utilizados na alimentação das moendas e na extração do caldo por moenda a vapor;
- Expor as técnicas aplicadas na alimentação das moendas e na extração do caldo;
- Expor as variáveis que possam interferir nos equipamentos, na alimentação das moendas e na extração do caldo;
- Descrever os controles que devem ser aplicados de acordo com as variáveis.

Justificativa

O Processo de Extração de caldo nada mais é do que uma das etapas para produção de açúcar, álcool e energia elétrica, porém sua eficiência impacta diretamente aos cofres da empresa, pois como visto na Relevância do estudo uma pequena perda acarreta em prejuízos altíssimos as empresas.

É geralmente estimada pelas usinas uma parcela de perda em ART de cerca de 10% durante todo o processo produtivo industrial. E como visto também na Relevância do estudo só a extração de caldo possui aproximadamente 4% de perda, ou seja, 40% das perdas totais estão nesse processo unitário estudado, daí sua grandiosa importância às empresas atuais que não podem aumentar seus preços de venda devido ao mercado, portanto necessitam diminuir a cada safra suas perdas industriais.

Metodologia

O presente trabalho quanto à natureza pode ser classificado como uma pesquisa básica, pois conforme Turriani e Mello (2012), a natureza básica utiliza como base conhecimentos teóricos e tem por finalidade o conhecimento pelo conhecimento.

Quanto aos objetivos pode ser classificada como pesquisa exploratória, porque visa familiarizar o problema com os assuntos obtidos através de dados secundários com o intuito de possuir ao final do trabalho mais informações sobre o tema abordado, assim garantir ao final da leitura uma abordagem mais explícita sobre o tema.

Em relação à forma de abordar o problema pode se classificar como pesquisa qualitativa, devido ser baseada em palavras, comentários e opiniões que formam uma base para construção deste trabalho.

Do ponto de vista dos métodos foi utilizado o de experimento, pois foi escolhido um objeto e estudado as variáveis que possam influenciá-lo e definido os controles da influência das variáveis no resultado do objeto.

A figura 1 resume a metodologia adotada:

Figura 1 – Metodologia do trabalho



Fonte: O autor

Estrutura do trabalho

No primeiro capítulo serão abordados os conceitos utilizados no setor sucroalcooleiro e detalhes sobre a composição da matéria-prima.

Seguindo, o segundo capítulo abordará os equipamentos e procedimentos utilizados no preparo da cana para a alimentação da moenda.

Os equipamentos e técnicas utilizadas na extração de caldo serão abordados no terceiro capítulo.

O quarto capítulo comentará sobre o acionamento das moendas a vapor.

Finalmente, no quinto capítulo serão retratados os controles que devem ser utilizados no setor de extração de caldo. E após este capítulo seguirá a conclusão do trabalho.

CAPÍTULO 1 – CONCEITOS E COMPOSIÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Segundo Manella (2012) a cana-de-açúcar, *Saccharum Officinarum*, é uma gramínea indiana cultivada principalmente em países tropicais para a extração do açúcar com haste de três a quatro m de altura, com módulos e com miolo rico em sacarose.

Segundo Payne (1989, p. 45) “A cana constitui-se em uma fração sólida, a fibra, e outra líquida, o caldo – que devem ser separadas para então produção do açúcar”.

1.1 Brix

Conforme Costa, Ponciano e Souza (2008, p. 4):

Brix é a porcentagem em massa dos sólidos totais solúveis numa solução. O brix é determinado diretamente no equipamento denominado refratômetro. Como exemplo, ao se dissolver 10 g de sacarose e 5 g de cloreto de sódio em água suficiente para formar 100 g de solução, a concentração dessa solução será de 15 graus brix.

1.2 Pol

Costa, Ponciano e Souza (2008, p. 4) ainda descrevem que:

Pol é a porcentagem em massa de sacarose aparente numa solução. A pol é obtida a partir da leitura sacarimétrica (LS) do caldo previamente clarificado. Um sacarímetro é um polarímetro calibrado para fornecer a leitura de 100°Z (Zucker) para uma solução contendo 26 gramas de sacarose dissolvidas em 100 mL de solução. Portanto, para se obter a pol do caldo a partir da leitura sacarimétrica deve-se conhecer a densidade do caldo, que pode ser obtido a partir do valor do brix:

$$\text{pol} = \frac{\text{LS} * 0,26}{d'} \quad (1)$$

1.3 Pureza

A pureza do caldo é, de acordo com Manella (2012), a porcentagem de sacarose nos sólidos de uma solução. É a relação entre pol e brix, conforme fórmula abaixo:

$$\text{Pureza} = \frac{\text{Pol}}{\text{Brix}} * 100 \quad (2)$$

1.4 Sacarose

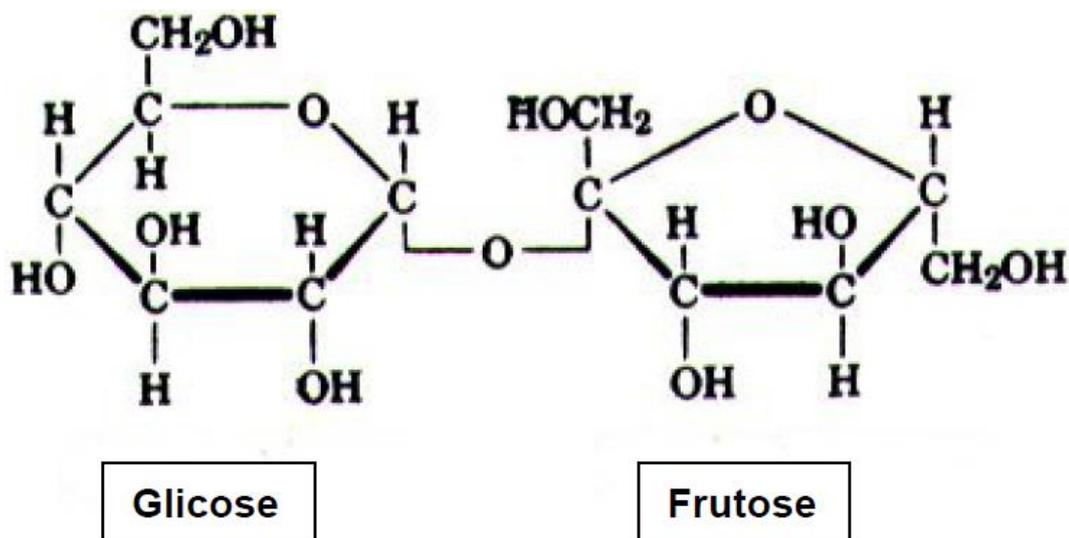
A sacarose é um tipo de açúcar (dissacarídeo) que possui como fórmula molecular $C_{12}H_{22}O_{11}$ e segundo Ribeiro (2003) pode ser considerado como o próprio valor da pol já que entre pol e sacarose existe pouca diferença.

É formada por dois monossacarídeos, uma molécula de frutose e outra de glicose, através de condensação.

Ela é o produto desejado pelas usinas, pois é o açúcar comercialmente vendido e é esta mesma sacarose que passa por fermentação alcoólica para produção de álcool.

Na figura 2 podemos observar a fórmula estrutural da sacarose:

Figura 2 – Fórmula estrutural da sacarose



Fonte: A Usina de Açúcar e sua Automação (2003)

1.5 Fibra

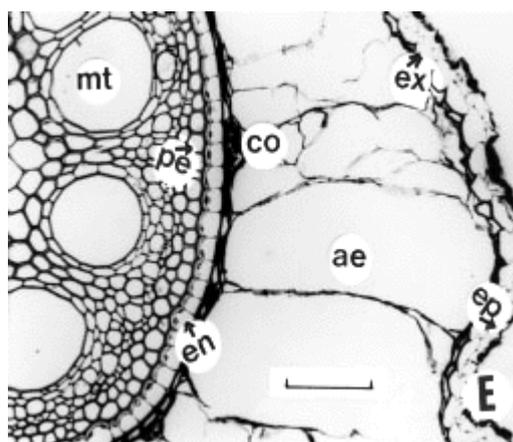
A fibra é a parte da cana que é insolúvel em água e seca. De acordo com Payne (1989) a fibra é formada pela casca, pelos feixes vasculares e o tecido parenquimatoso (medula).

Existem dois tipos de fibra – o parênquima e os feixes – diferentes nas propriedades físicas, mas quimicamente similares. Os feixes de fibra são

longos, rijos e enfileirados. O parênquima (medula) é fino, frágil como papel. Os feixes de fibras tornam possível a integridade da estrutura do colmo de cana e estão concentrados principalmente na casca, enquanto o parênquima é o material da parede celular interna. (PAYNE, 1989, p. 214).

Na figura 3 podemos observar a estrutura do colmo da cana:

Figura 3 – Estrutura do colmo da cana-de-açúcar



ae = aerênquima; co = córtex; ep = epiderme; ex = exoderme; en = endoderme; me = medula; mt = metaxilema; pe = periciclo.

Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87051998000100007&script=sci_arttext

A fibra é o material que dará, posteriormente, origem ao bagaço.

1.6 Impurezas

As impurezas na cana são os elementos indesejáveis ao processo. Podem ser de origem mineral (terra e pedra) ou vegetal (folha, raiz e ponta do caule).

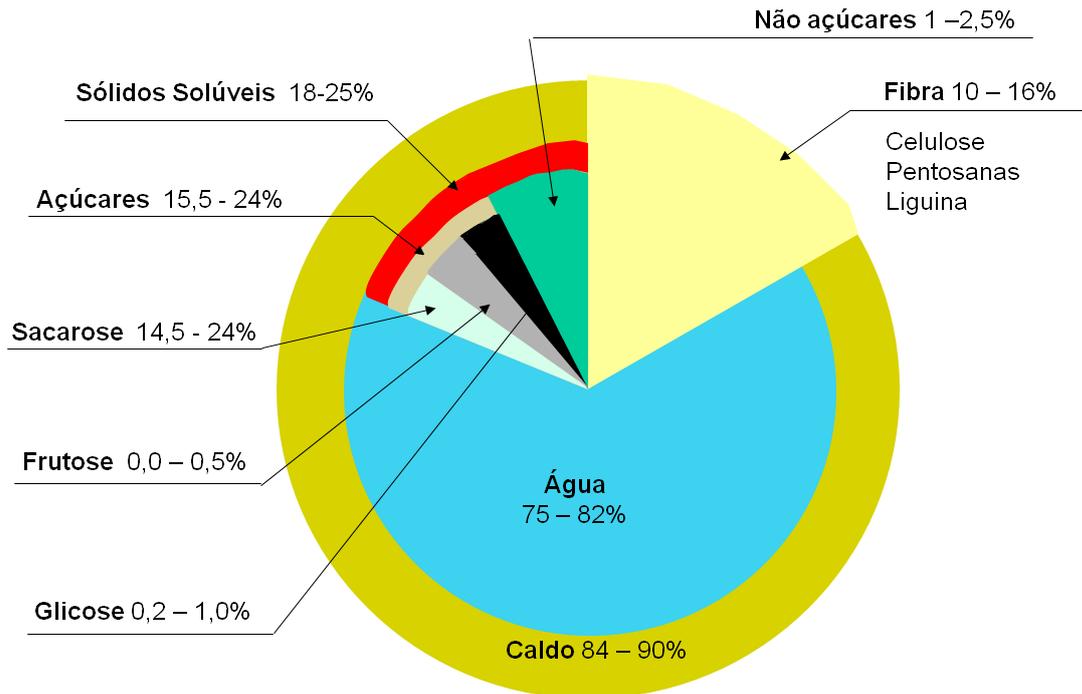
São indesejáveis porque as impurezas minerais causam desgastes nos equipamentos e as vegetais porque não possuem açúcar, aumenta o volume de matéria-prima de entrada diminuindo o aproveitamento da extração e utilizam potência desnecessária das máquinas.

Paes (2011) diz que se aumentar 1% da quantidade de impureza vegetal na cana diminui 2,3% a capacidade de moagem e 0,1% a capacidade de extração do caldo da cana. Valores de base 6% de impureza vegetal na cana.

1.7 Composição da Cana

A cana é basicamente formada por caldo e fibra. A composição da cana está representada no gráfico 1 e suas respectivas porcentagens.

Gráfico 1 – Composição da cana-de-açúcar



Fonte: http://www.usinasaofernando.com.br/conteudo_site.asp?tipoID=3

De acordo com Castro e Andrade (2006) pode-se considerar que um colmo normal de cana madura contenha cerca de 12,5% de fibra e 88,0 % de caldo. O colmo possui aproximadamente 25,0 % de partes duras, representadas pelos nós, e cascas, e 75,0 % das partes moles constituídas pelas as partes internas dos meritalos.

1.8 Maturação e Deterioração

A maturação (condição ideal da cana) é quando a mesma atinge o teor máximo de sacarose.

Pode ser medida através da fórmula:

$$\text{Índice de Maturação} = \frac{\text{Brix da Ponta do Colmo}}{\text{Brix da base do Colmo}} * 100 \quad (3)$$

Na tabela 1 segue os valores do índice de maturação e o valor ideal situa-se entre 85 a 100% de acordo com o arquivo Unidade I - Fabricação de Açúcar: Preparação e Extração publicado no site <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>.

Tabela 1 – Índice de Maturação

Índice de Maturação	Estágio de Maturação
< 60%	Cana Verde
De 60 a 85%	Cana em maturação
De 85 a 100%	Cana madura
> 100%	Cana em declínio de maturação

Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

A deterioração da cana ocorre quando há a inversão da molécula de sacarose em frutose e glicose.

Isso ocorre por ação de bactérias e fungos depois que a cana é cortada, essa inversão ocorre principalmente a partir de 48 horas após o corte da cana.

1.9 ART – Açúcares Redutores Totais

Segundo Manella (2012) os Açúcares Redutores Totais corresponde ao somatório total dos açúcares redutores com a sacarose convertida em açúcar redutor. Afirma também que os Açúcares Redutores são os açúcares que têm a propriedade de reduzir o cobre em solução cúprica “licor de Fehling”, como a glicose e a frutose.

É obtido pela fórmula:

$$\text{ART} = (\text{PC} * \text{fator de conversão}) + \text{AR} \quad (4)$$

Onde:

PC = Pol da cana, em %;

fator de conversão = valor tabelado que leva em conta os valores analisados no laboratório da empresa.

AR = Açúcares Redutores, em %.

CAPÍTULO 2 – PREPARO E ALIMENTAÇÃO

De acordo com Manella (2012) preparo industrial da cana é a operação antecessora à extração e que consiste em realizar a desintegração dos colmos da cana e assim fazer com que haja o rompimento das células (*OpenCell*).

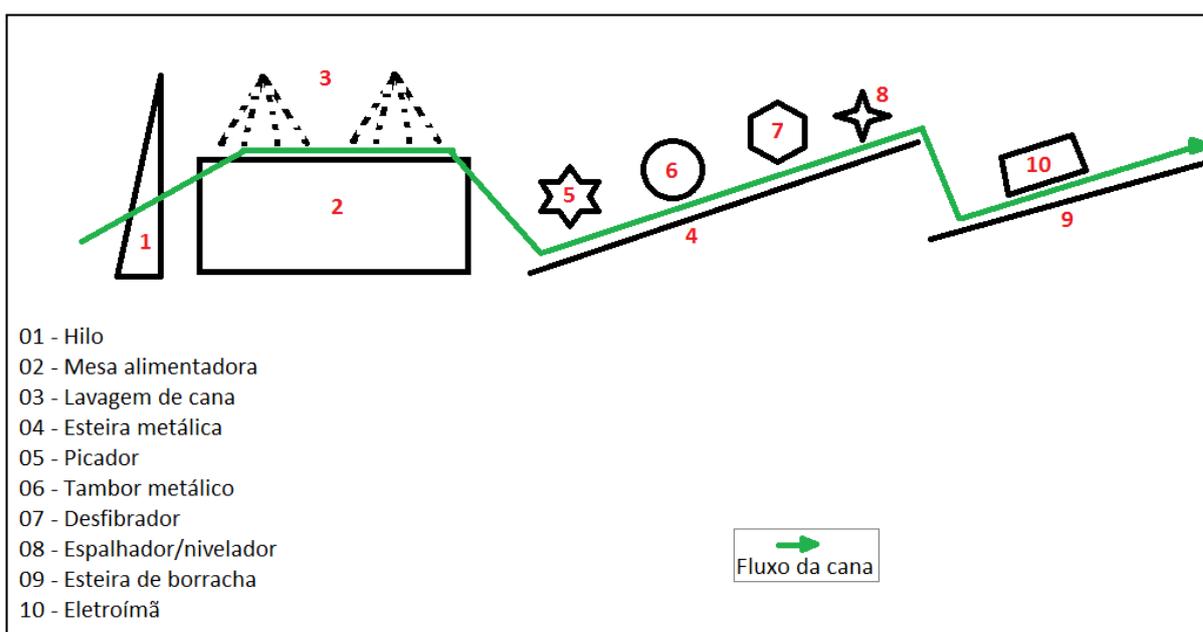
O *OpenCell* ou Índice de Preparo da Cana é definido por Manella (2012) como o fator utilizado para medir a eficiência das facas e desfibradores na seção de preparo da cana. Em geral é expresso sob a quantidade de células do colmo que foram abertas pela ação dos equipamentos do preparo. Manella (2012) define que este índice deve se encontrar entre 85 a 90 %.

Tal operação também tem como grande objetivo a alimentação das moendas, para isso é necessário uma boa compactação da cana, ou seja, aumentar a densidade (kg/m^3), assim garantirá a ausência de espaços vazios durante a alimentação das moendas.

Segundo Ricardo Steckelberg (sem data) a preparação de cana é o processo de romper a estrutura da cana para facilitar a extração da sacarose e aumentar a capacidade de moagem.

A operação de preparo e alimentação possui a seguinte estrutura conforme figura 4:

Figura 4 – Estrutura do preparo e alimentação



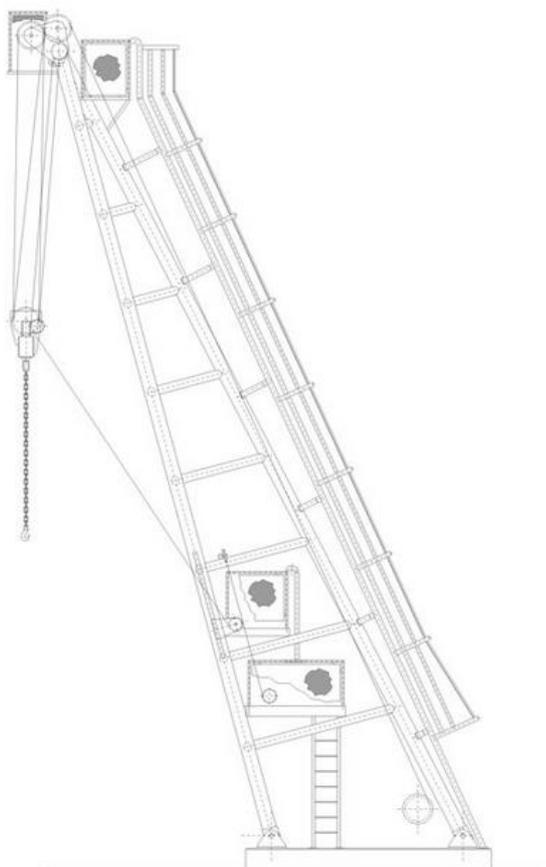
Seguem detalhes das etapas:

2.1 Hilo

A primeira etapa no processo de alimentação da moenda e preparo da cana é realizado pelo Hilo, que é, segundo Manella (2012), um guindaste estacionário composto por uma sólida torre de sustentação na qual estão acopladas as roldanas, cabos de aço e pistão hidráulicos, que tombam a carga de cana do veículo transportador diretamente na mesa alimentadora.

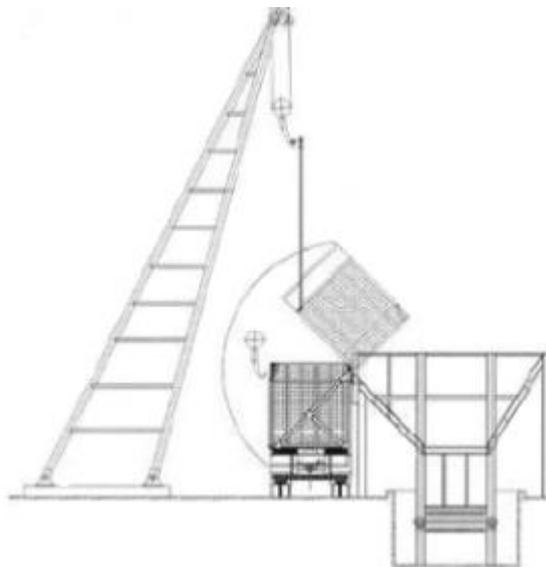
É o sistema de descarga mais utilizado nas usinas brasileiras. Sua altura varia de 13 a 15 metros. As figuras 5 e 6 ilustram sua estrutura e funcionamento.

Figura 5 – Guindaste Hilo



Fonte: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-descarregador-lateral2.php

Figura 6 – Tombamento de carga pelo Hilo



Fonte: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_101_22122006154841.html

Nesta etapa deve-se verificar:

- A lubrificação dos cabos de aço;
- Regulagem dos freios e dos cabos de aço;
- Atentar durante descarregamento para não derrubar a caçamba dentro da mesa alimentadora;
- A capacidade de levantamento para não exigir esforço de mais nos cabos.

Segundo Hugot (1969):

$$F = 0,1A \quad (5)$$

Onde: F é a capacidade de levantamento em toneladas e A é o trabalho da usina em toneladas de cana por hora.

2.2 Mesa Alimentadora

A mesa alimentadora é o equipamento que recebe a cana após o descarregamento pelo hilo. As figuras 7 e 8 demonstram sua localização.

Segundo Manella (2012, p. 86):

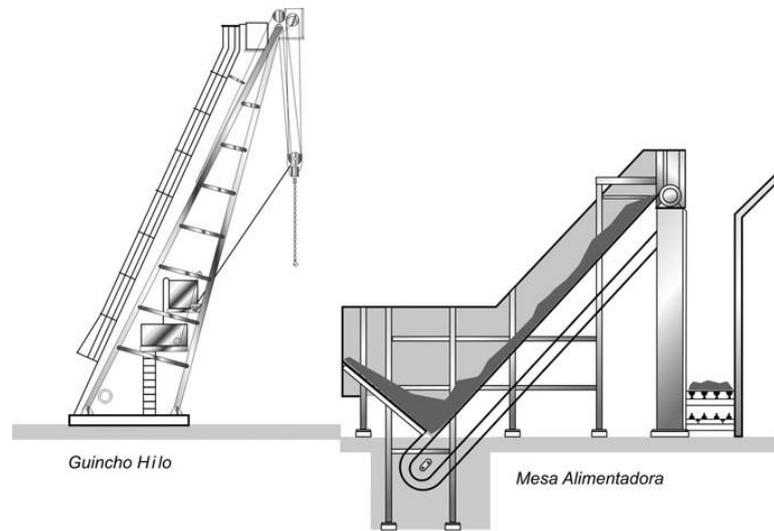
Equipamento de recepção de cana mais utilizado nas indústrias canavieiras. São constituídas de um estrado de chapas metálicas, com largura e comprimento variáveis, podendo ser plana ou inclinada. Sua localização é lateral à esteira principal, e sua inclinação é variável, de 15° e 45°, é na mesa que efetua a lavagem de cana.

Segundo Hugot (1969, p. 28):

Consiste em um condutor muito largo e muito curto, movido por um motor independente. Sua forma é retangular ou aproximadamente quadrada. O nível do estrado superior deve chegar a cerca de 2 m acima do nível do condutor principal e ser quase vertical à parede que limita o condutor do lado da mesa. O guindaste deposita a cana sobre esta plataforma e assegura o abastecimento à medida que esta se esvazia. Um operário, em boa posição para observar o conjunto do pátio de cana, fica perto do reostato do motor de impulsionamento da mesa alimentadora e a faz funcionar cada vez que o condutor principal é carregado de modo insuficiente. A cana cai da mesa alimentadora no condutor e a vantagem deste sistema é a cana cair mais ou menos emaranhada, facilitando muito o trabalho da navalha. Assim que a quantidade desejada de cana foi despejada, diminui ou pára o andamento da mesa. Por isso, seu andamento é muito irregular, brusco e interrompido.

Então podemos dizer que a mesa alimentadora tem a função de alimentar as esteiras metálicas de forma homogênea, aumentando ou diminuindo a alimentação.

Figura 7 – Mesa alimentadora



Fonte: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-descarregador-lateral2.php

Figura 8 – Mesa alimentadora



Fonte: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-descarregador-lateral2.php

Para Hugot (1969) o dimensionamento da mesa alimentadora deve respeitar a seguinte fórmula:

$$S = 0,6A \quad (6)$$

Onde S é superfície da plataforma da mesa alimentadora em metros quadrados e A é o trabalho da usina em toneladas de cana por hora.

O autor ainda ressalta que se o valor de A for maior que 70 toneladas de cana por hora deve-se utilizar duas mesas alimentadoras.

O acionamento das mesas ocorre por meio de motor elétrico com acoplamento hidráulico.

2.3 Lavagem de cana

É o processo onde se retira as impurezas minerais provenientes da lavoura, como terra, areia, pedra, etc.

Segundo Manella (2012, p. 80) a lavagem de cana é a:

Operação realizada na cana-de-açúcar, antes de sua entrada ao processo industrial e normalmente efetuada na mesa alimentadora. Consiste na aplicação de um jato de água sobre o colchão de cana, a fim de eliminar as impurezas, que a acompanham. O volume de água aplicado varia em função de diversos fatores, oscilando de 5 (cinco) a 10 (dez) m³ por tonelada de cana.

De acordo com Ribeiro (2003) o pH da água deve estar entre 10 e 11.

O grande ponto positivo nessa etapa é a retiradas das impurezas minerais, mas quando a água passa pela cana ela também arrasta parte do caldo contido na cana. Segundo o site http://www.mezochi.net/Qual_import_lavagem.htm (sem nome, 2006): “A lavagem nunca é feita na cana picada, pois provocaria um arraste muito grande de sacarose pela água”, isso porque as partes expostas são maiores do que uma cana inteira onde teria apenas a parte superior e inferior expostas.

Segundo o mesmo site a lavagem da cana tende a ser eliminada, pois segundo leis vigentes as usinas paulistas devem acabar com as queimadas até 2014 e assim consequentemente aumentará a quantidade de cana picada mecanizada.

Na figura 9 é possível observar um exemplo de lavagem de cana.

Figura 9 – Lavagem da cana



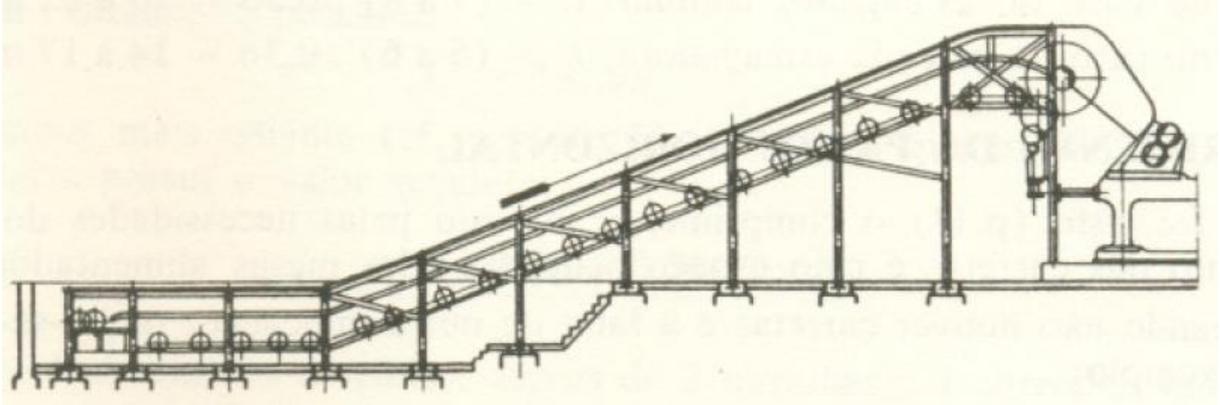
Fonte: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html

2.4 Esteira Metálica ou Condutor de cana

A esteira metálica, antes conhecida como condutor de cana, é, de acordo com Hugot (1969), é um tapete rolante, pelo qual a cana é introduzida na usina e que assegura a alimentação das moendas.

Hugot (1969) ainda ressalta que para uma boa alimentação deve-se existir uma queda bastante grande e como é preciso passar do nível do pátio a um nível mais elevado, então a esteira deve ficar em geral numa fossa. A esteira possui sempre uma parte ascendente conforme figura 10:

Figura 10 – Detalhe da esteira metálica sob vista lateral



Fonte: Hugot (1969)

Para Hugot (1969, p.42) a inclinação deve estar entre 15 a 22°. “Adotando-se uma inclinação muito baixa, aumenta-se a despesa e o comprimento da instalação. Se a inclinação é muito alta, há o perigo de deslizamento”.

Para determinarmos o comprimento da parte inclinada Hugot (1969) diz que para moendas de rolos (caso desse trabalho) a altura acima do solo deve ser em torno de 4,5 m e geralmente a altura abaixo do solo deve ser de 1 m.

Então podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$\text{Comprimento} = \frac{(\text{altura antes solo} + \text{altura acima solo})}{(\text{grau de inclinação} * 1,80 / 100)} \quad (7)$$

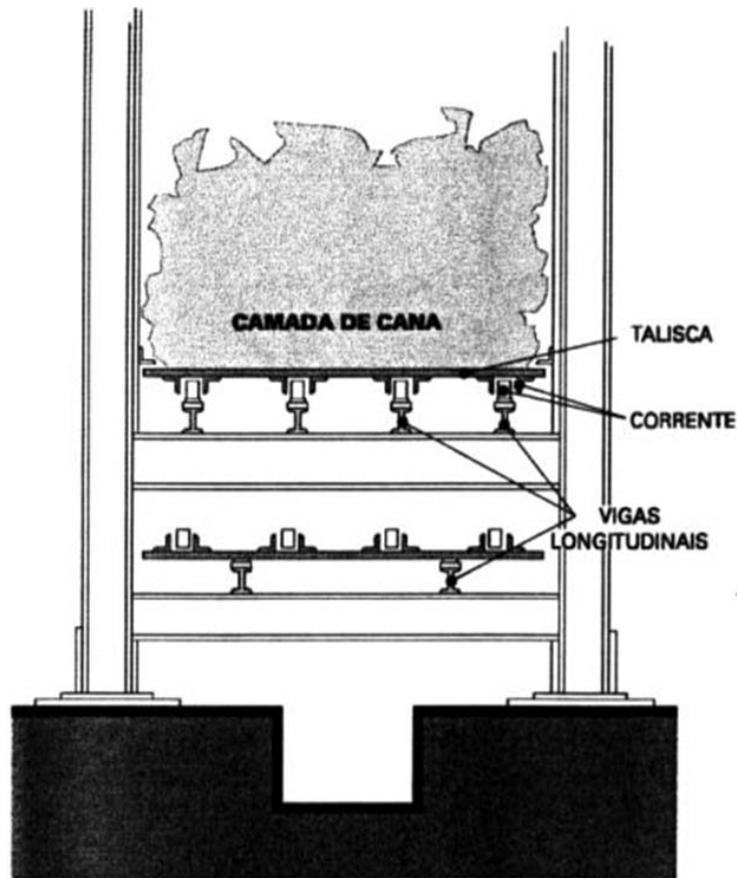
E para determinar o comprimento da parte horizontal de acordo com o autor devemos obedecer a seguinte fórmula:

$$\text{Comprimento} = 5 * \sqrt[3]{A} \quad (8)$$

Conforme figura 11, a largura da esteira deve ser igual a largura dos rolos da moenda. Segundo Hugot (1969, p. 32):

A largura do condutor é sempre escolhida igual à largura dos rolos da moenda. Um condutor mais largo não alimentaria o esmagador de maneira uniforme em toda sua largura, já que ele necessitaria de um chute em forma de pirâmide, diminuindo em direção ao esmagador: assim, as partes laterais seriam mais carregadas que o centro; um condutor mais estreito apresentaria o inconveniente inverso, que é, por sinal, menor, em virtude do esparramamento da cana picada no momento da queda.

Figura 11 – Esteira metálica sob vista frontal



Fonte: <http://pimartins.weebly.com/recepccedilatildeo-e-preparo.html>

A velocidade da esteira é determinada de acordo com a moagem realizada. Então se pode considerar instável, pois há aumentos, diminuições e paradas constantes. A velocidade média da empresa estudada como base é 17 metros por minuto.

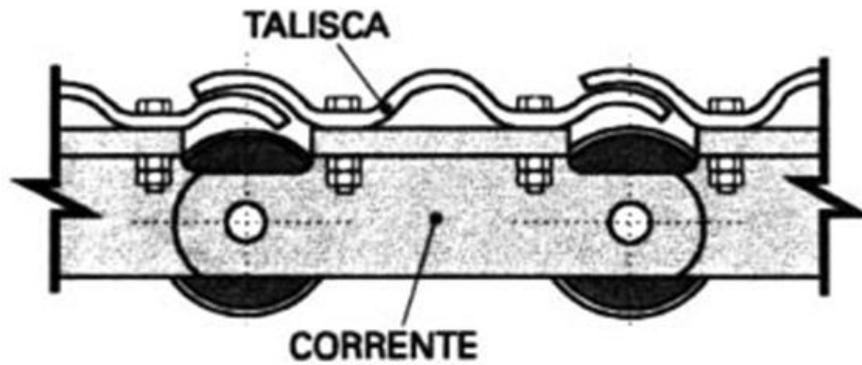
O acionamento pode ser feito através de motor elétrico ou por meio de turbinas a vapor.

A figura 12 demonstra como estão montadas as taliscas sobre as correntes.

Segundo Hugot (1969, p. 35):

Os estrados metálicos são construídos com taliscas de aço, imbricadas com uma extremidade arredondada, cilíndrica, situada sobre o eixo das roldanas, sobre as quais gira a corrente e que são colocadas nas duas extremidades dos eixos, reunindo e articulando os elos sucessivos. Este arredondamento permite a passagem sobre as rodas dentadas na cabeça e na base da corrente e dá-lhe a articulação necessária. O estrado é geralmente sustentado por 2 correntes, nas moendas muito largas, às vezes 3.

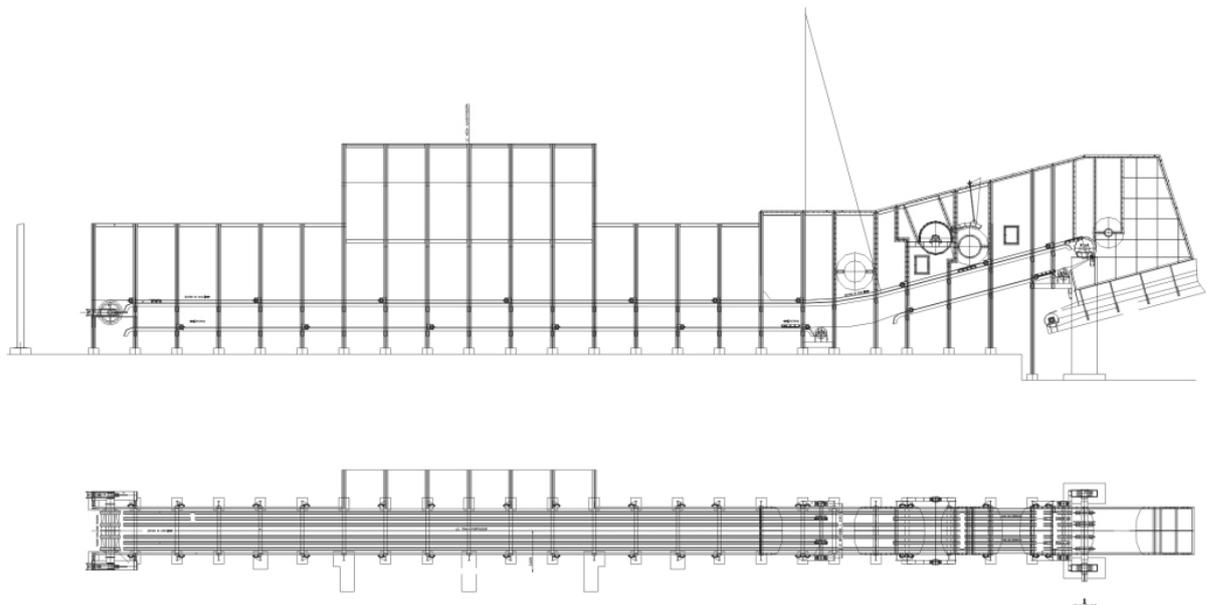
Figura 12 – Detalhe das taliscas



Fonte: <http://pimartins.weebly.com/recepccedilatildeo-e-preparo.html>

A figura 13 mostra a esteira metálica:

Figura 13 – Desenho da esteira metálica



Fonte: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-esteira-transportadora2.php

2.5 Picador ou Navalha

Manella (2012, p.93) define um picador como:

É um equipamento formado por um eixo horizontal, tendo em uma, das extremidades um volante, e na outra um acoplamento elástico por onde recebe o movimento de acionamento de um motor elétrico ou turbina a vapor. No eixo são posicionados os suportes onde são fixadas as facas e ou navalhas. A função dos picadores é a de retalhar, cortar e picar as canas com o objetivo de homogeneizar a camada de cana na esteira, permitindo um trabalho mais perfeito do desfibrador, situado logo após o picador.

A figura 14 mostra um picador em processo de manutenção:

Figura 14 – Picador



Fonte: <http://www.dnindustrial.com.br/produtoseservicos.html>

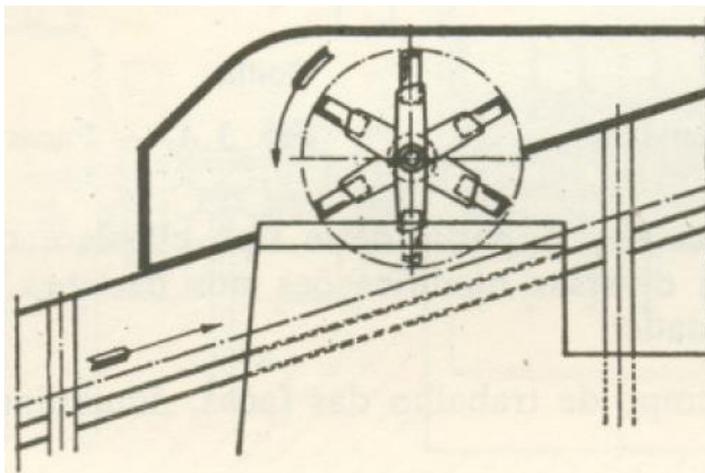
Hugot (1969) define que o picador possui duas funções: Aumenta a capacidade de moagem e a extração do caldo.

O aumento da capacidade está relacionado com a mudança da densidade da cana. A cana tem, aproximadamente, 125 a 150 kg/m³ e após o picador passa a ter 250 a 300 kg/m³.

Quanto à extração é devido o rompimento da cana e o esmagamento do córtex e da estrutura de seus nós.

O giro do picador é no mesmo sentido do giro da esteira, conforme figura 15:

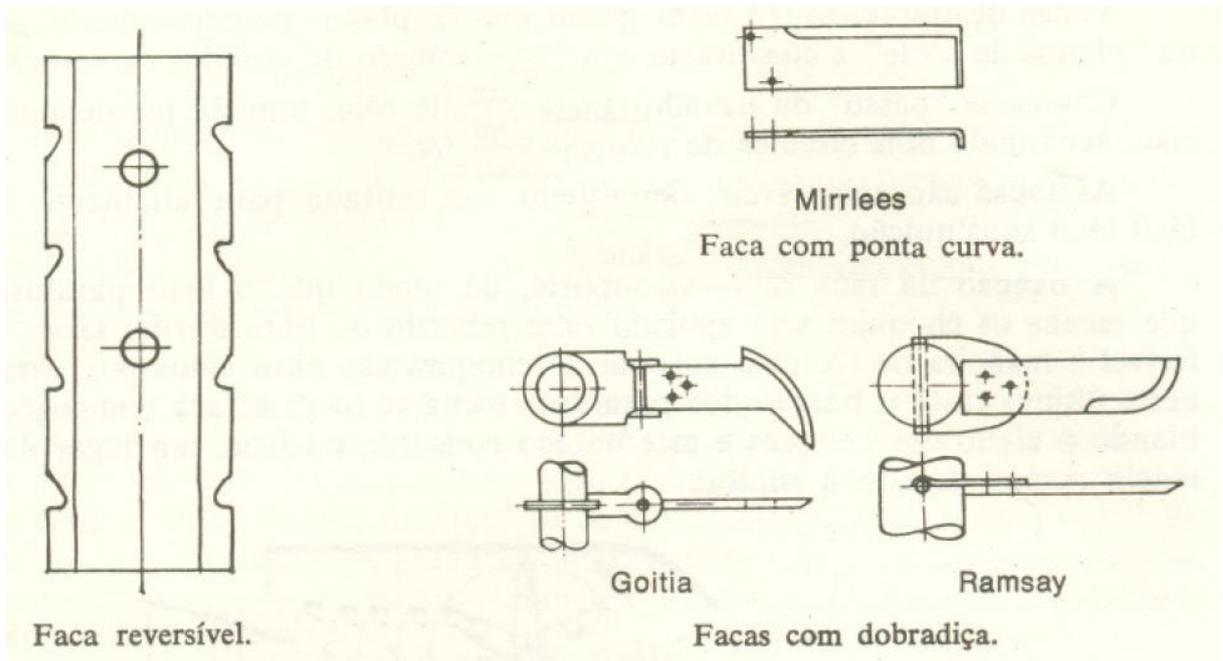
Figura 15 – Sentido da rotação do picador



Fonte: Hugot (1969)

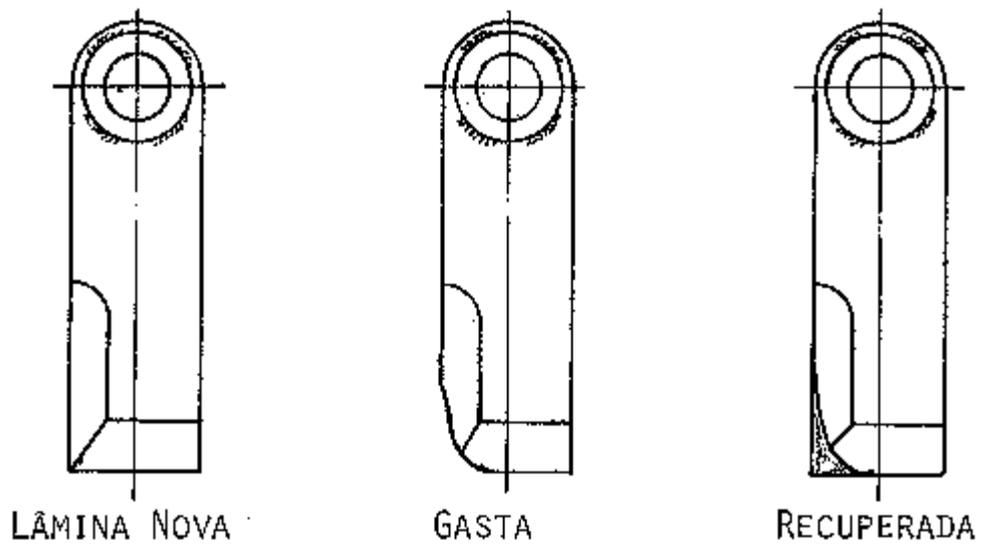
As facas são removíveis para troca, recuperação ou para alternar o lado do corte. Nas figuras 16 e 17 são demonstrados os tipos de facas e a recuperação das mesmas respectivamente.

Figura 16 – Tipos de facas



Fonte: Adaptado de Hugot (1969)

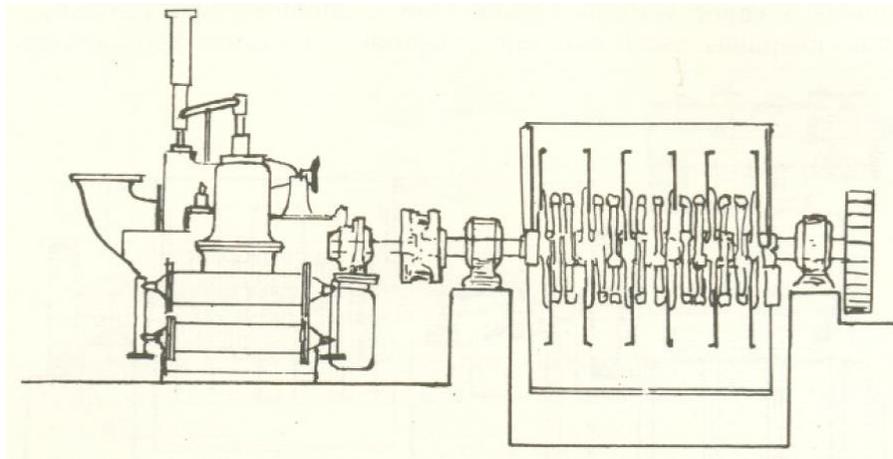
Figura 17 – Facas novas, gastas e recuperadas



Fonte: Curso de Operação de Moendas da Copersucar (1999)

O acionamento do picador pode ser por meio de turbina à vapor, conforme figura 18, ou motor elétrico. A usina estudada como base utiliza o sistema de acionamento de picadores através de turbinas a vapor, sendo a velocidade média da turbina de 5.500 RPM. Para acionar o picador é utilizado redutor de velocidade. De acordo com o Curso de Operação de Moendas da Copersucar (1999) a rotação dos picadores é em torno de 600 RPM.

Figura 18 – Acionamento a vapor



Fonte: Hugot (1969)

Hugot (1969) utiliza o seguinte cálculo para determinar a quantidade de facas:

$$\text{Número de facas} = \frac{L}{p} - 1 \quad (9)$$

Onde L é a largura da esteira metálica e P é o passo da navalha. O passo da navalha é o intervalo que separa os círculos de rotação ou os planos de corte de duas facas sucessivas. O mais frequente é de 50 mm.

Para determinar a relação entre a cana e a cana picada (figura 19), Hugot (1969) determinou as seguintes fórmulas:

$$i = \frac{r}{h} * 100 \quad (10)$$

$$h = \frac{1000 * A}{60 * u * L * d''} \quad (11)$$

$$k = \frac{100 - i}{100} \quad (12)$$

Onde:

i = peso de cana não picada, % em relação ao peso total;

r = regulagem da navalha (distância entre a esteira e a ponta da faca), em mm;

h = altura da camada de cana, em mm;

A = trabalho das moendas, em tonelada de cana por hora;

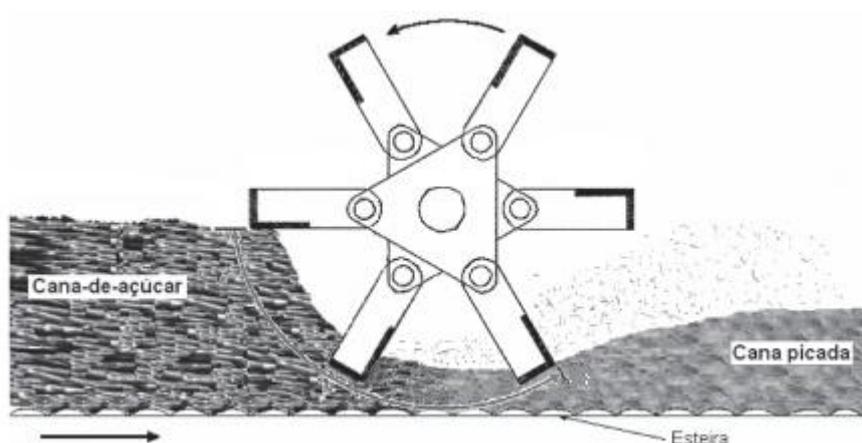
u = velocidade do condutor de cana, em metros por minuto;

L = largura do condutor em metros;

d'' = densidade da cana, antes da navalha, em kg/m^3 ;

k = a proporção de cana picada, % em relação ao peso total.

Figura 19 – Relação entre cana e cana picada



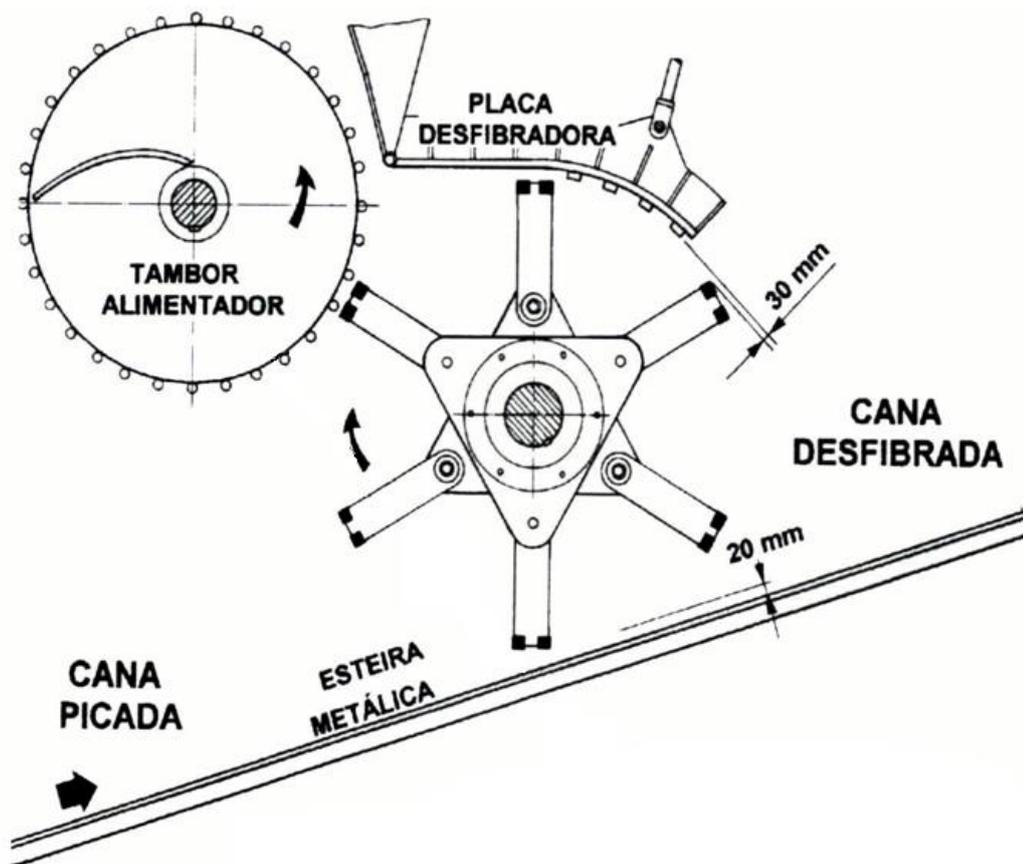
Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242010000200003

2.7 Desfibrador

A primeira etapa da desfibragem é a passagem da cana picada pelo tambor alimentador metálico. Segundo o arquivo Unidade I - Fabricação de Açúcar: Preparação e Extração publicado no site <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf> o tambor alimentador tem a função de forçar a passagem de cana entre os martelos e a placa desfibradora que fica posicionada antes do rotor em nível pouco acima.

A figura 20 ilustra a etapa de desfibragem e o posicionamento do tambor metálico e a figura 21 traz a foto de um tambor.

Figura 20 – Detalhe do tambor alimentador metálico



Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

Pode-se observar que o sentido de rotação do tambor é inverso ao do desfibrador, ou seja, tende a direcionar a cana para a placa desfibradora.

Figura 21 – Tambor metálico



Fonte: <http://djfabianos.wix.com/sertemaq#!preparo-de-cana>

Depois de passar pelo tambor alimentador metálico a cana picada é direcionada ao desfibrador e de acordo com Manella (2012, p. 59) o desfibrador é:

Um equipamento utilizado no preparo da cana cujo objetivo é desintegrar por completo a estrutura do colmo da cana. Em geral é constituído por um rotor onde é fixado uma série de martelos que giram próximo a uma chapa com barras (placas desfibradoras).

Payne (1989, p. 46) define o processo:

Um desfibrador bem projetado, com martelos de 20 kg, girando a uma velocidade periférica de 6.000 m/min, deve dar um índice de preparo da ordem de 88%. A potência necessária é de cerca de 13 CV/TCH.

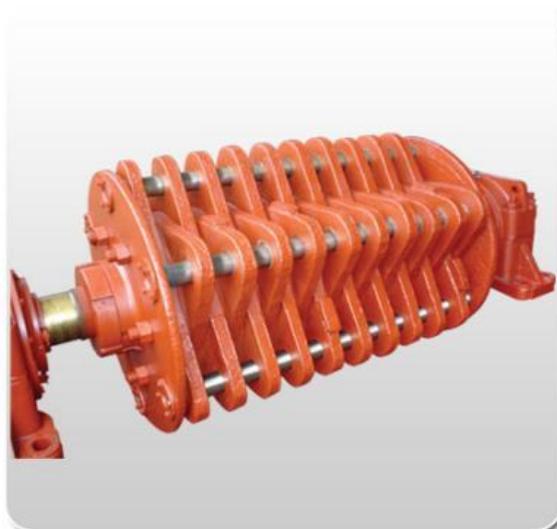
Girando a velocidades mais baixas, reduz-se o índice de preparo e o consumo de potência, a 4.500 m/min, o índice de preparo deve cair para aproximadamente 85%, e a potência para 9 CV/TCH.

Em geral, um aumento no índice de preparo de 4% resulta num aumento de extração de 1% na mesma moenda. É mais ou menos o equivalente a se acrescentar um terno ao tandem.

A empresa acompanhada trabalha com tambores alimentadores e desfibradores acionados através de turbinas a vapor, possui Índice de Preparo em torno de 87 % e rotação média da turbina é em torno de 5.500 RPM. Para acionar o desfibrador é utilizado redutores de velocidade. De acordo com o Curso de Operação de Moendas da Copersucar (1999) a rotação dos desfibradores convencionais é em torno de 630 a 750 RPM.

A figura 22 demonstra um desfibrador de cana.

Figura 22 – Desfibrador de cana



Fonte: <http://www.romasul.com.br/produto/desfibrador-de-cana.html>

As figuras 23, 24 e 25 demonstram, respectivamente, a placa desfibradora, martelos e martelos recuperados.

Figura 23 – Placa desfibradora



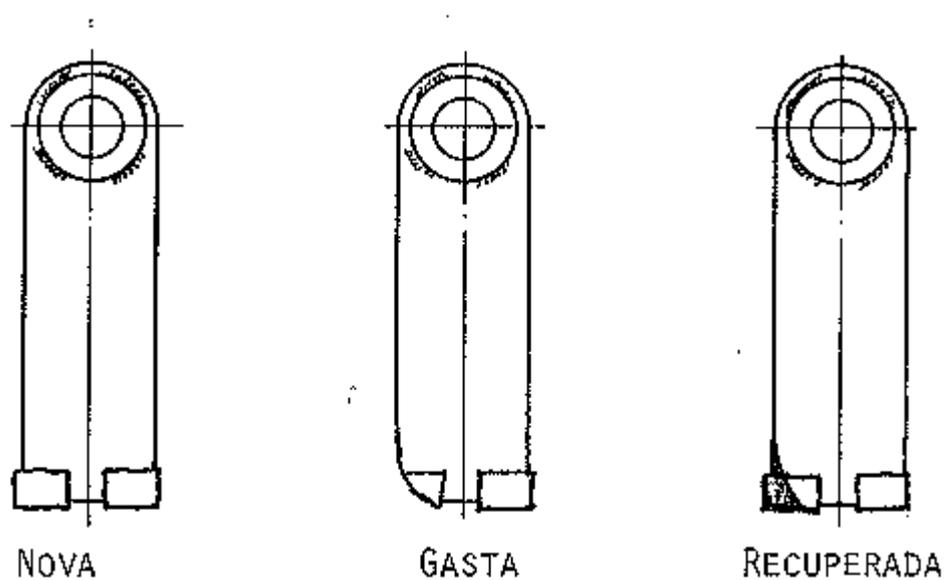
Fonte: <http://www.magister.ind.br/produtos>

Figura 24 – Martelos



Fonte: <http://www.magister.ind.br/produtos>

Figura 25 – Martelos novos, gastos e recuperados



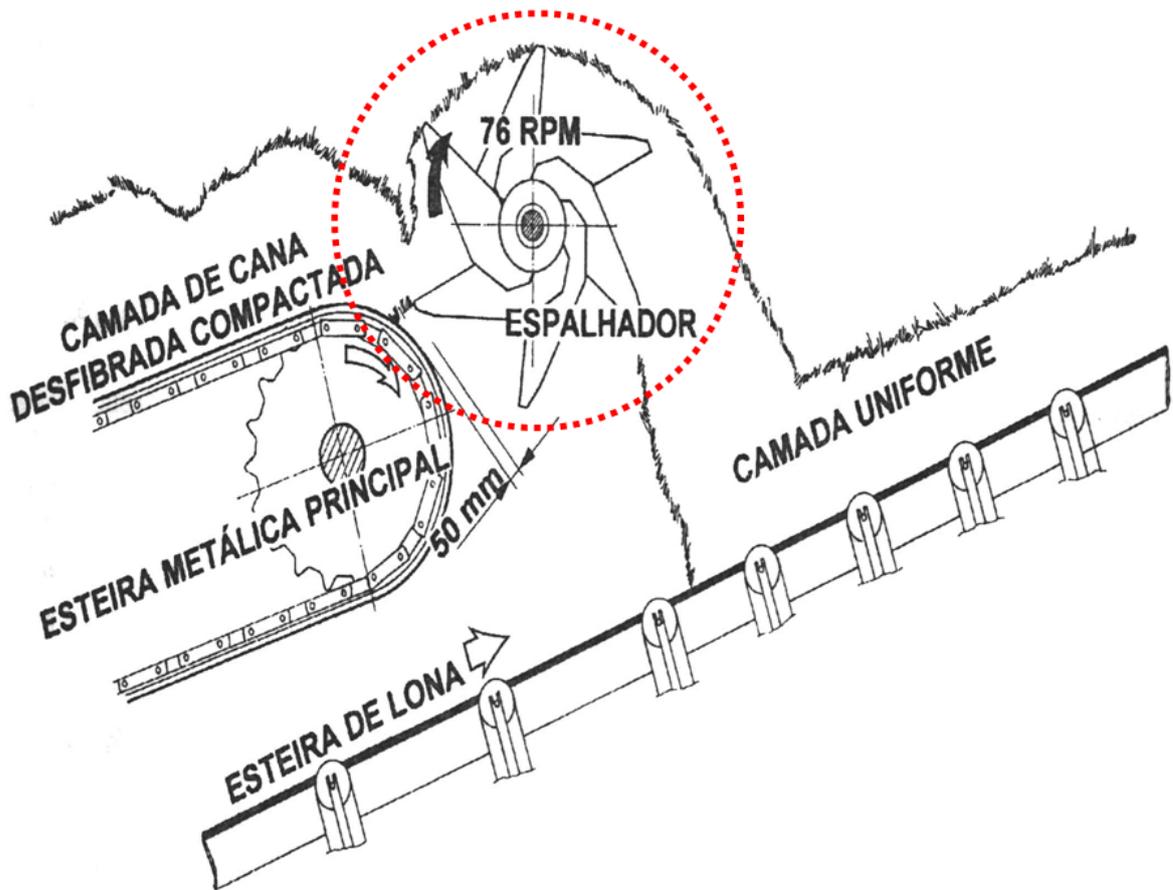
Fonte: Curso de Operação de Moendas da Copersucar (1999)

2.8 Espalhador ou Nivelador

De acordo com o texto Processo Industrial no Setor Sucroalcooleiro (sem nome, sem data) do site <http://pimartins.weebly.com/recepccedilatildeo-e-preparo.html> o espalhador tem a função de descompactar a cana desfibrada, pois a mesma sai do desfibrador compactada e

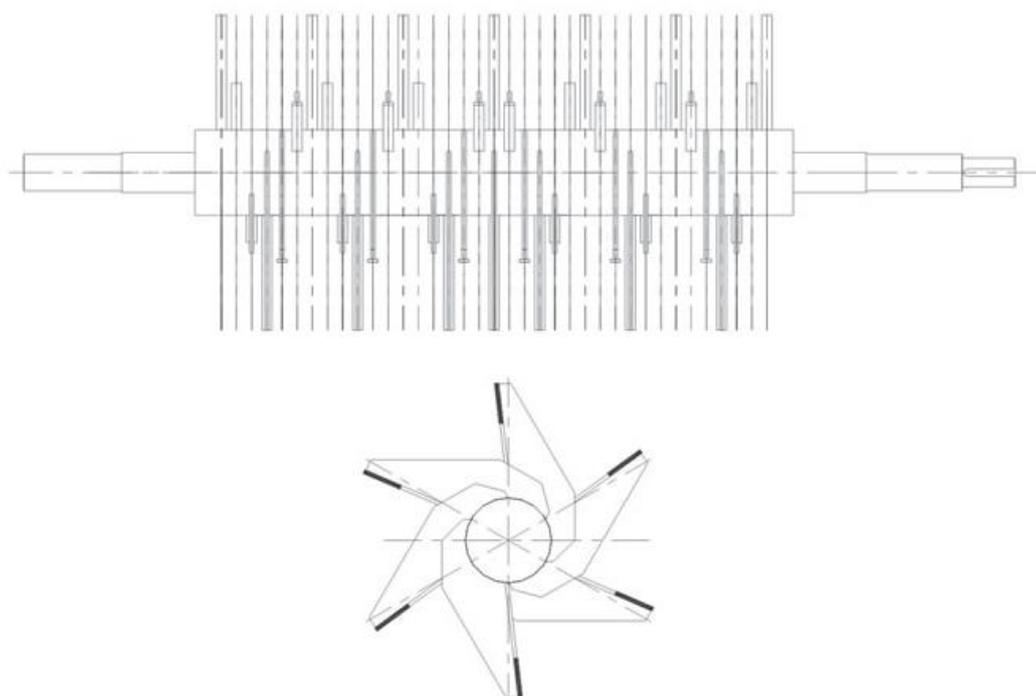
sem uniformidade, então faz-se necessária esta descompactação para se obter uma camada fina e uniforme na cana desfibrada. O nivelador otimiza a alimentação tornando-a homogênea. A figura 26 detalha o local do espalhador no preparo da cana e a 27 representa-o.

Figura 26 – Local do espalhador



Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

Figura 27 – Desenho do espalhador frontal e lateral



Fonte: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-desfibradores2.php

2.9 Eletroímã ou Separador Magnético

Manella (2012) diz que um separador magnético ou eletroímã deve ser colocado na esteira de alimentação de cana, antes da moenda, com a finalidade retirar do colchão de cana desfibrada, pedaços de ferro que ele poderia conter, que causariam danos aos rolos da moenda.

Esses pedaços de partes metálicas podem ser partes dos equipamentos anteriores (taliscas, facas, martelos, porcas, etc.) como também podem ser dos caminhões, colhedoras, facões, etc.

Como podemos ver na figura 26 há o transporte da cana por gravidade de uma esteira metálica para uma esteira de lona (borracha) isso se deve ao fato do eletroímã estar localizado sobre a esteira de lona.

Na empresa estudada a esteira de lona se move a uma velocidade média de 75 metros por minuto.

O principal ponto a ser observado no eletroímã é a sua distância da esteira de lona, pois uma distância pequena pode causar impedimento de passagem de cana e uma distância grande diminui a capacidade de ação do equipamento. A figura 28 demonstra o posicionamento do eletroímã.

Figura 28 – Eletroímã



Fonte: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-eletroima2.php

CAPÍTULO 3 – MOAGEM

A moagem é o processo físico que consiste em separar o caldo da fibra. A moagem pode ocorrer por moenda ou difusor.

A empresa utilizada como modelo realiza moagem com moendas, sendo duas no total.

Manella (2012) define moenda como uma unidade esmagadora formada por três rolos que formam um triângulo isóscele. O autor afirma ainda que o termo moenda é usado para indicar um conjunto de ternos, sendo estes constituídos por três rolos cada.

As moendas da empresa estudada são: uma formada por seis ternos (moenda 54) e outra com cinco ternos (moenda 66).

Segue figura 29 ilustrando um terno de moenda.

Figura 29 – Terno de moenda



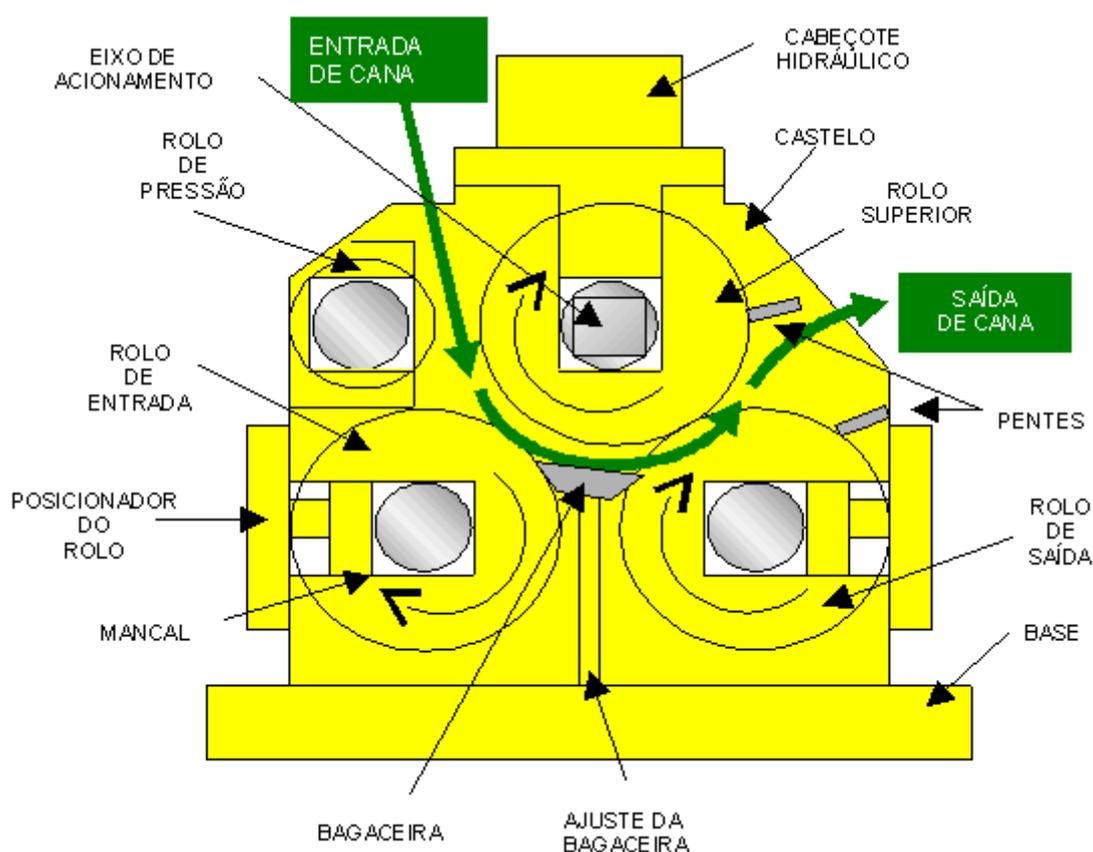
Fonte: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_extracao/aa-area-atuacao-extracao-moenda2.php

3.1 Terno

Sua função, de acordo com o arquivo Unidade I - Fabricação de Açúcar: Preparação e Extração publicado no site <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>, é forçar a cana a passar pelas aberturas entre os rolos de maneira que separe o caldo contido no bagaço. Abaixo as descrições dos principais componentes de um terno de moenda.

O terno de moenda é montado de acordo com a figura 30:

Figura 30 – Esquemática de terno de moenda



Fonte: A Usina de Açúcar e sua Automação (2003)

3.1.1 Castelo

Segundo Manella (2012), são peças metálicas que sustentam os rolos do terno da moenda. São constituídos em aço ou ferro fundido e possuem três fendas, duas laterais e uma superior, onde são fixados os rolos.

A figura 31 representa um castelo de moenda.

Figura 31 – Castelo de Moenda



Fonte: <http://negociol.com/p220798-castelo-moenda-moreno.html>

Os castelos são fixados em bases de concreto (figura 32) por meio de parafusos que possuem mais de dois metros de comprimento cada.

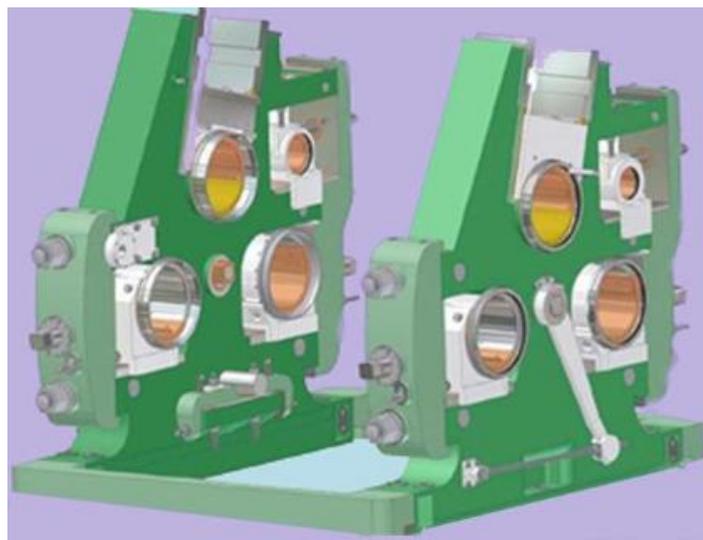
Figura 32 – Base da moenda



Fonte: <http://www.conenge.com/eficiente/sites/obrasindustriais/pt-br/site.php?secao=obrasindustriais&pub=57>

Cada terno de moenda possui dois castelos, posicionados paralelamente pela distância do diâmetro do rolo, ficando assim perpendiculares aos rolos, conforme a figura 33:

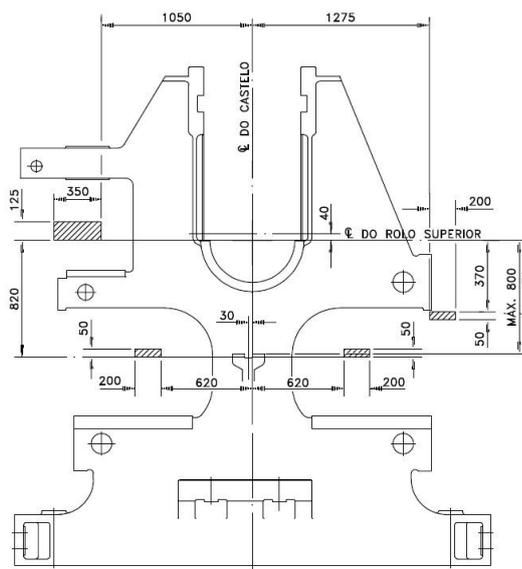
Figura 33 – Distância entre castelos



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABeHEAD/castelo-mancais>

Os castelos podem ser de dois tipos: inclinados ou retos. A figura anterior demonstrou um castelo inclinado, onde o ângulo de inclinação da entrada do rolo superior é de cerca de 15° . A figura 34 é um desenho de um castelo reto:

Figura 34 – Castelo Reto



Fonte: Steckelberg (2012)

Entre os dois tipos de castelos o mais recomendado é o castelo inclinado, pois a sua inclinação acompanhado da força do cabeçote hidráulico sobre o rolo superior causa maior pressão de contato entre o rolo superior contra o rolo de saída.

3.1.2 Rolos

São cilindros de aço fundido responsáveis pelo esmagamento da cana, pela extração do caldo e pela condução da cana dentro do terno através do sentido do giro dos rolos.

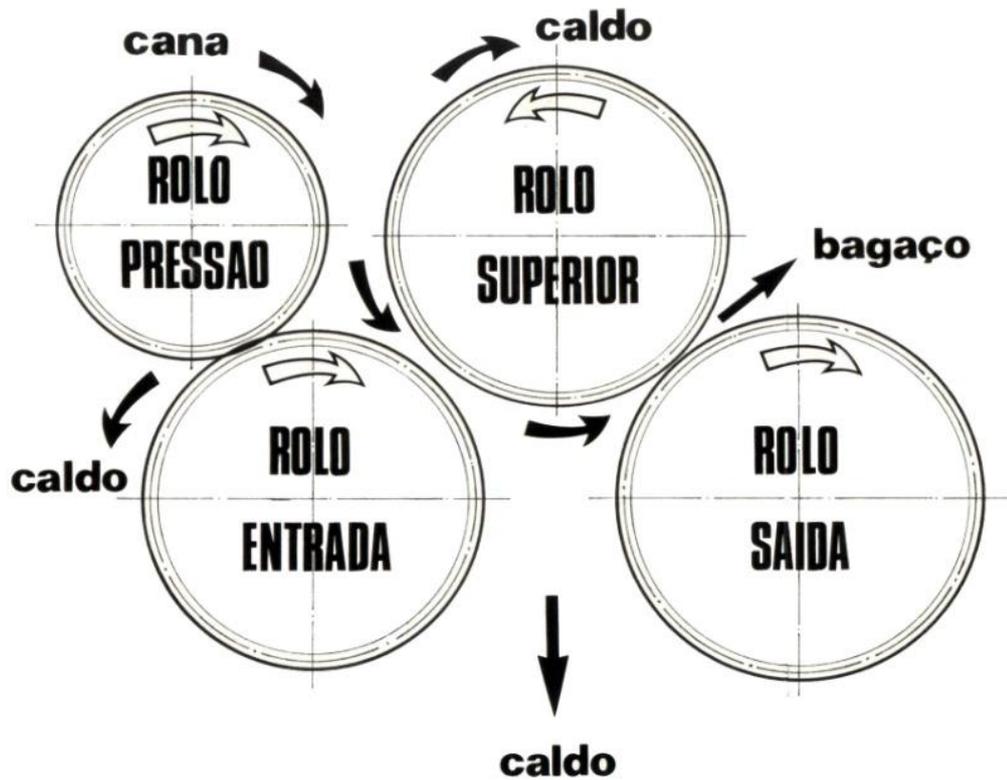
Cada terno possui 04 rolos, sendo estes: rolo de pressão (pré-rolo), rolo de entrada, rolo superior e rolo de saída, montados conforme figura 35.

A usina estudada possui na moenda 54 rolos de 54 polegadas de comprimento e na moenda 66 possui quatro ternos com rolos de 66 polegadas de comprimento e o último terno com rolos de 78 polegadas de comprimento.

E cada rolo é constituído de camisa e eixo.

Os rolos, exceto o pré-rolo, devem formar um triângulo isósceles.

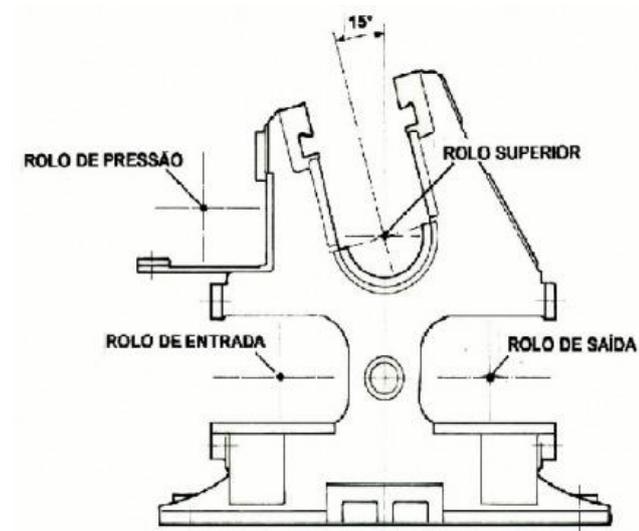
Figura 35 – Esquemática dos rolos e sentido da rotação



Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

Na figura 36 segue a posição dos rolos no castelo:

Figura 36 – Posição dos rolos no castelo



Fonte: <http://pimartins.weebly.com/extraccedilatildeo.html>

3.1.2.1 Eixo

São peças feitas de aço forjado. São localizadas no interior dos rolos e possuem em suas extremidades formatos adequados para encaixe em mancais, rodetes e acoplamentos.

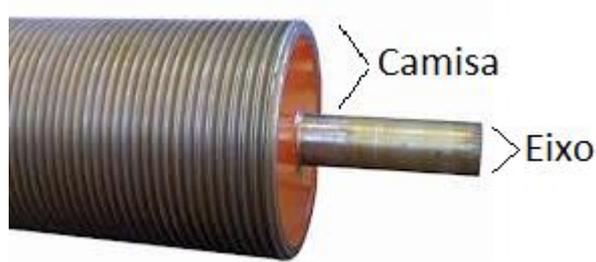
A figura 37 representa um eixo de rolo de moenda e a figura 38 representa a posição do eixo no rolo.

Figura 37 – Eixo do rolo



Fonte: <http://www.faguavermelha.ind.br/produto/eixos-de-moenda.html>

Figura 38 – Eixo e Camisa



Fonte: adaptado de <http://djfabianos.wix.com/sertemaq#!preparo-de-cana>

3.1.2.2 Camisa

É a estrutura formada por ferro fundido que recobre o eixo para formarem o rolo, conforme figura 39.

Possui em sua estrutura externa frisos verticais (figura 40), que acompanham a circunferência da camisa. O espaçamento de um friso a outro é em torno de 1,5 a 2,5

polegadas e cada friso possui diversos picotes (figura 41). É através dos frisos e picotes que ocorre a extração do caldo.

A montagem da camisa sobre o rolo é realizada através do aquecimento da camisa, assim causando dilatação e, posteriormente, é colocada em volta do eixo, com o esfriamento há a compactação de ambos.

Figura 39 – Camisa



Fonte: <http://www.solostocks.com.br/venda-produtos/outra-maquinarria/camisa-para-moenda-614548>

Figura 40 – Frisos



Fonte: <http://www.mbservicoosemanutencoes.com/2013/01/restauracao-de-camisas-e-criacao-de.html>

Figura 41 – Picotes dos frisos



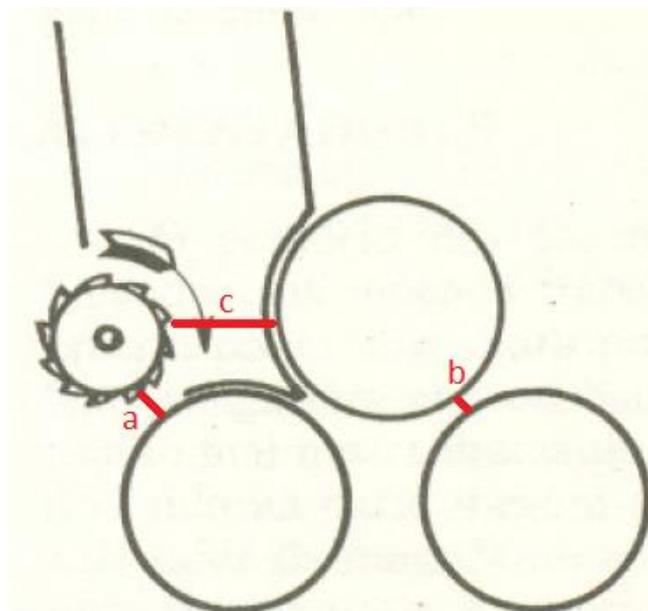
Fonte: <http://www.mbservicosemanutencoes.com/2013/01/restauracao-de-camisas-e-criacao-de.html>

3.1.2.3 Rolo de Pressão

O rolo de pressão, também chamado de pré-rolo ou *Press-Roll*, é o rolo que encontra primeiro o bagaço, e sua função de acordo com o arquivo Unidade I - Fabricação de Açúcar: Preparação e Extração publicado no site <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf> é compactar a camada de cana permitindo uma melhor alimentação do terno. Encontra-se na parte superior do terno, acima do rolo de entrada, como pode-se ver na figura 42.

Seu diâmetro é, segundo Hugot (1969), de 1/2 a 2/3 o diâmetro dos demais rolos.

Figura 42 – Posição do Rolo de Pressão



Fonte: Adaptado de Hugot (1969)

Segundo Hugot (1969) a regulagem *c* deverá ser a menor possível, sem que o bagaço transborde por cima do rolo superior. Esta condição é obtida nas moendas bem reguladas, quando *c* é aproximadamente 6 vezes a abertura de saída em movimento, *b*, desta moenda.

Em relação ao espaço *a*, Hugot (1969, p.113) afirma que “o espaço deixado entre o *press-roll* e o rolo de entrada é de 5 mm, normalmente”.

O rolo de pressão possui giro no sentido horário, conforme figura 42.

3.1.2.4 Rolos Inferiores

Os rolos inferiores são os rolos de entrada e de saída. São os rolos que esmagam a cana, extraíndo o caldo ao comprimi-la contra o rolo superior.

O rolo de entrada possui baixa extração e encaminha cana para o rolo de saída, que por sua vez extrai mais o caldo, por estar mais próximo ao rolo superior.

Possuem giros no sentido horário, conforme figura 35.

3.1.2.5 Rolo Superior

É o rolo situado na parte superior do castelo e se localiza entre o rolo de entrada e de saída. Sua rotação é no sentido anti-horário.

É o rolo mais importante dentre os quatro, pois é o rolo que possui maior contato com a cana, que recebe o acionamento proveniente das turbinas (será descrito no capítulo 4) e é ele que recebe a pressão hidráulica (descrito no subitem 3.1.5).

Por ter maior contato com a cana é o que possui maior desgaste ao término de safra.

3.1.2.6 Flanges

Polidoro e Serra (2011) fazem o seguinte comentário sobre a flange: “Montada somente nos rolos superiores a Flange tem como função básica promover a vedação entre os rolos e as laterais do terno”. A figura 43 mostra o rolo superior de uma moenda, onde é possível encontrar os flanges montados em suas laterais.

Figura 43 – Rolo superior com as flanges



Fonte: http://www.bohlersoldabrasil.com.br/setembro_2011/artigo2.html

Os autores ressaltam ainda que a flange é:

Confeccionada em chapa de aço carbono ASTM A36 ou em aço carbono fundido, as flanges sofrem desgaste por abrasão e fricção. Atualmente o revestimento duro da face de flanges é uma atividade comum entre as usinas e seus prestadores de serviço, tendo em vista que o índice de desgaste destes componentes, em milímetros por safra, aumentou consideravelmente. Este fato ocorreu devido ao aumento de fatores como, impurezas minerais na

cana, velocidade de moagem, aumento da capacidade de moagem, dentre outros, o que faz com que este componente receba um tratamento diferenciado.

E afirmam ainda que obtendo menor desgaste ao longo da safra proporciona uma diminuição de embuchamentos laterais de bagaço, que prejudicam as vedações, além disso, auxiliam na limitação das folgas laterais protegendo os frisos de moenda, dentes da bagaceira e pentes. A figura 44 demonstra o desgaste em flange após final de safra.

Figura 44 – Flange desgastada



Fonte: http://www.bohlersoldabrasil.com.br/setembro_2011/artigo2.html

3.1.3 Mancais e Casquilhos

Os mancais (figura 45) e casquilhos (figura 46) são os componentes que ficam entre o castelo e o eixo do rolo. São feitos de bronze devido as propriedades mecânicas do bronze.

Conforme Américo (2013) uma liga típica para mancais de moenda é uma mistura de 84% de cobre, 10% de estanho, 3% de chumbo e 3% de zinco.

A rotação do eixo sobre o casquilho gera aquecimento e para realizar a redução dessa temperatura os casquilhos devem ser resfriados. Para isso os casquilhos possuem em seu interior frestas que permitem a circulação de água conforme figura 47.

Figura 45 – Mancal



Fonte: <http://www.faguavermelha.ind.br/produto/mancal-superior-161423.html>

Figura 46 – Casquilhos



Fonte: <http://www.mazzer.com.br/ci.php?/home>

Figura 47 – Detalhe das frestas de refrigeração



Fonte: <http://metalurgicaperola.ind.br/>

3.1.4 Cabeçotes

Manella (2012) descreve que os cabeçotes são dispositivos que prendem os rolos da moenda às fendas dos castelos. O cabeçote é preso ao castelo por dois parafusos.

A figura 48 traz em destaque o cabeçote preso ao castelo.

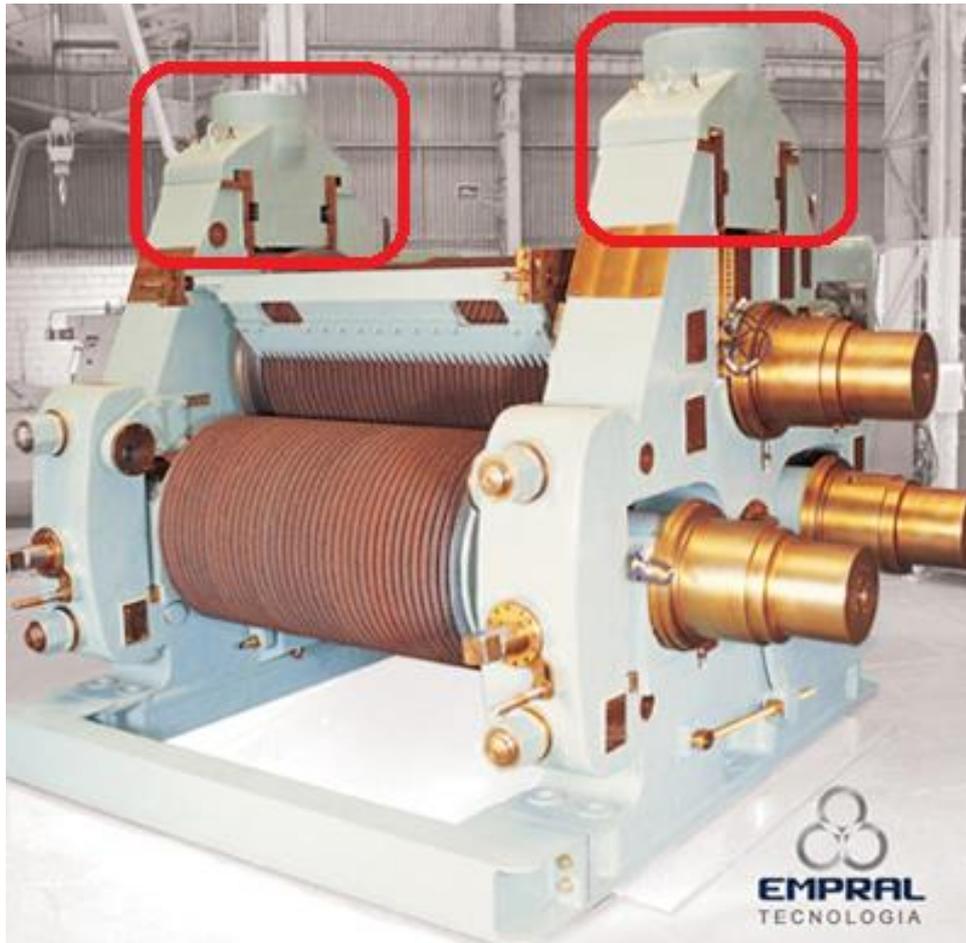
Figura 48 – Detalhe do posicionamento dos cabeçotes laterais



Fonte: Adaptado de <http://www.simisa.com.br/home/produtos.php>

Os cabeçotes dos rolos superiores possuem pistões hidráulicos que suportam as pressões hidráulicas (descrito no subitem 3.1.5), na figura 49 há o destaque quanto ao posicionamento dos cabeçotes hidráulicos.

Figura 49 - Detalhe do posicionamento dos cabeçotes hidráulicos



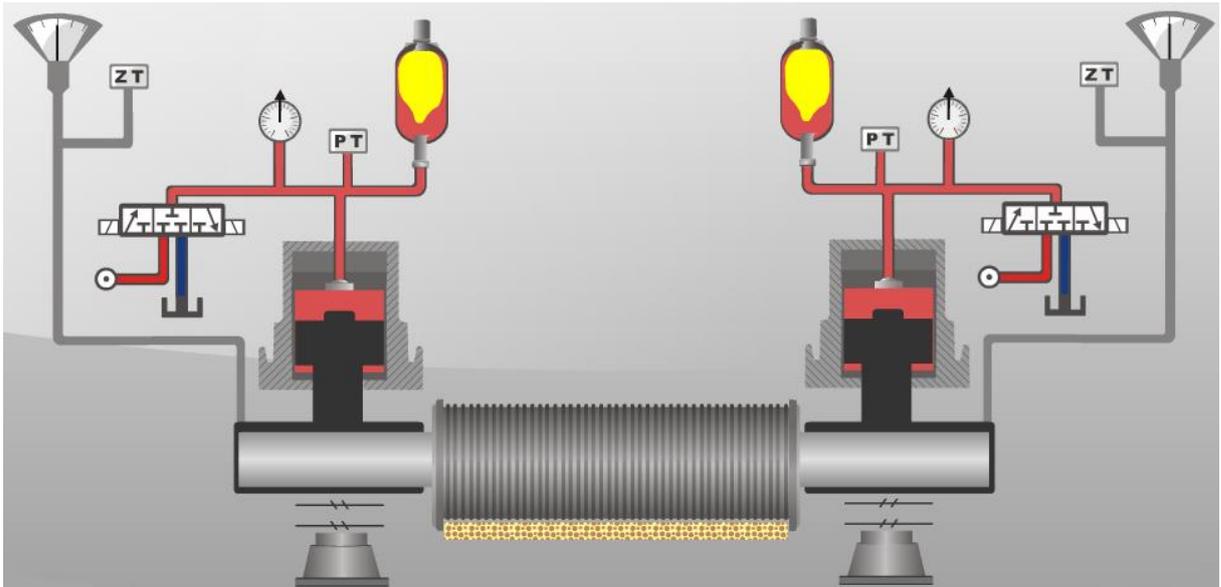
Fonte: Adaptado de <http://www.simisa.com.br/home/produtos.php>

3.1.5 Sistema Hidráulico

Para que haja compressão da cana o rolo superior deve ser pressionado contra os demais. Por isso é adicionado sobre os pistões dos cabeçotes hidráulicos um sistema de pressão hidráulica através de tubulações de óleo sobre pressão.

De acordo com o Curso de Operação de Moendas da Copersucar (1999) a função do sistema hidráulico para aplicação da carga no rolo superior das moendas é a de manter uma pressão constante sobre a camada de bagaço, independentemente da oscilação do rolo superior.

Figura 50 – Exemplo de Sistema de Pressão Hidráulica



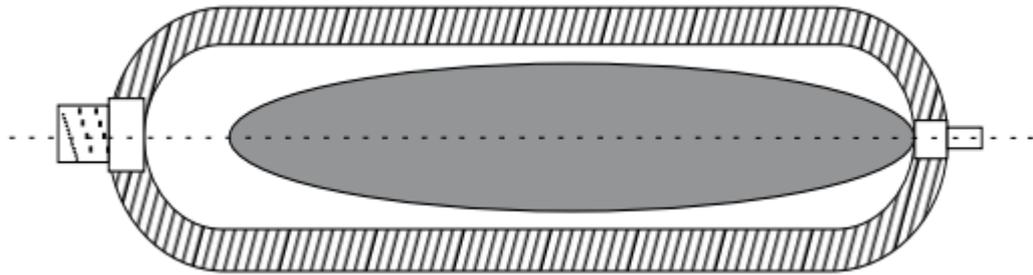
Fonte: Adaptado de <http://www.dinamoautomacao.com.br/animacao.swf>

Na figura 50 se pode notar, em amarelo, acumuladores de óleo, os quais são conhecidos como garrafas hidráulicas.

Este acumulador consiste de um recipiente metálico que apresenta em seu interior uma bexiga de borracha cheia com nitrogênio, que se comprime ou se dilata, conforme o volume de óleo é deslocado devido à oscilação do pistão hidráulico. O óleo entra e sai da garrafa através de uma válvula situada em sua parte inferior. Na parte superior da garrafa encontra-se um registro de gás, para enchimento e verificação da pressão do nitrogênio contido na bexiga. (CURSO DE OPERAÇÃO DE MOENDAS, COPERSUCAR, 1999, p. 92).

A figura 51 ilustra a bexiga ou garrafa hidráulica.

Figura 51 – Garrafa hidráulica



Fonte: http://www.rgsertal.com.br/catalogo/cat_2.pdf

Cálculos da pressão hidráulica:

$$p_h = \frac{F_p}{A_p} \quad (13)$$

$$A_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \quad (14)$$

Onde:

p_h = pressão hidráulica, em kgf/cm²;

F_p = força aplicada pelo pistão no mancal, em kgf;

A_p = área do pistão, em cm²;

d_p = diâmetro do pistão, em cm;

Fazendo as conversões de unidades temos:

$$p_h = \frac{5688 \cdot F_p}{\pi \cdot d_p^2} \quad (15)$$

Onde:

p_h = pressão hidráulica, em lbf/in²;

F_p = força aplicada pelo pistão no mancal, em kgf;

d_p = diâmetro do pistão, em mm;

3.1.6 Bagaceira

Dispositivo construído em aço ou ferro fundido entre os rolos inferiores da moenda e cuja função é conduzir a cana ou bagaço parcialmente esmagado

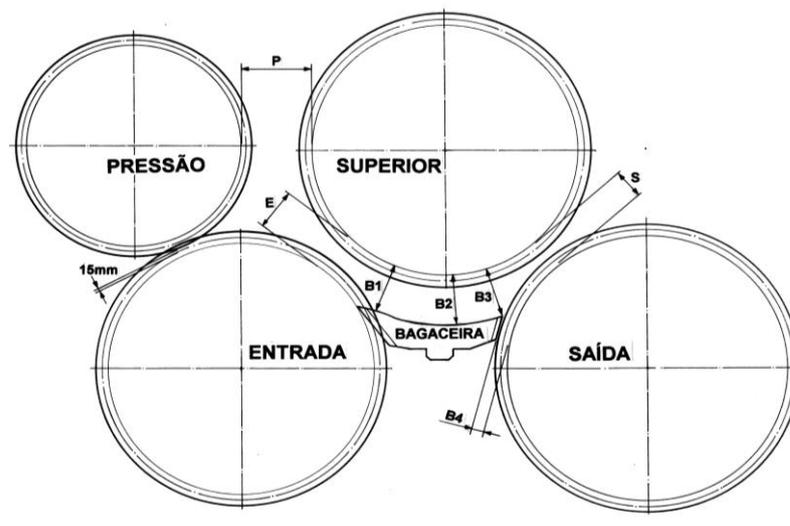
pelo rolo superior e de entrada, para ser novamente comprimido entre o rolo superior e de saída. (MANELLA, 2012, p. 44).

Segundo o Curso de operação de moendas, Copersucar (1999, p. 134):

A função da bagaceira é conduzir o bagaço do rolo de entrada para o rolo de saída, sem a intenção, no entanto, de extrair caldo. Do seu correto posicionamento, depende um funcionamento uniforme e contínuo da moenda e também o desempenho da extração. Se a bagaceira for posicionada muito alta, a carga sobre o rolo superior é muito elevada, ocorrendo desgaste acentuado da mesma, aumentando a potência absorvida e sufocando a passagem de bagaço, resultando, portanto em alimentação deficiente da moenda. Se a bagaceira for posicionada muito baixa, o bagaço ao passar sobre ela não é comprimido suficientemente para impedir que o rolo superior deslize sobre a camada de bagaço resultando em embuchamento nessa região.

A bagaceira é representada pela figura 53 e a sua localização no terno de moenda pela figura 52.

Figura 52 – Posição da bagaceira



Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

Figura 53 – Bagaceira



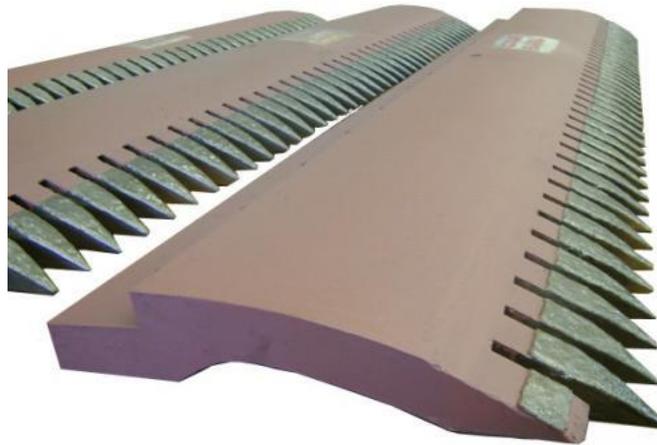
Fonte: <http://www.faguavermelha.ind.br/produto/bagaceira-com-metalizacao.html>

3.1.7 Pentas

De acordo com Manella (2012) pente é o “dispositivo utilizado para a limpeza das ranhuras dos rolos da moenda. São placas de aço ou de ferro endurecido, com ranhuras de passo semelhante ao dos cilindros com que estão assentados”.

A figura 54 traz fotos de pentas e a figura 55 demonstra o local onde são posicionados no terno da moenda.

Figura 54 – Pentes

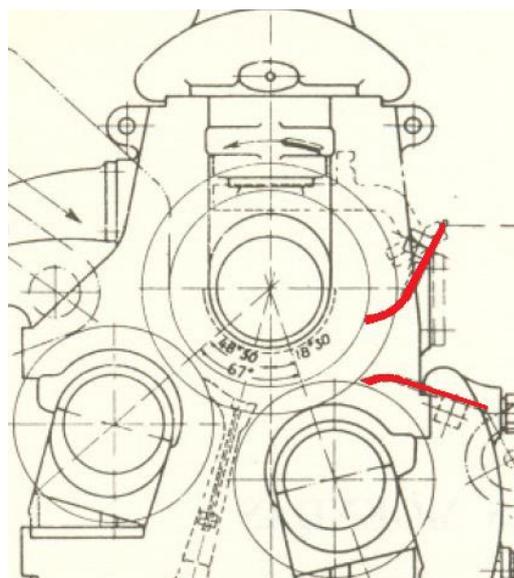


Fonte: <http://www.faguavermelha.ind.br/produto/pentes-diversos-com-ou-sem-metalizacao.html>

Cada terno possui dois pentes, sendo um colocado para limpar o rolo superior e o outro colocado para limpar o rolo de saída após contato com bagaço.

O rolo de entrada não possui pente porque o próprio rolo de pressão trabalha ajudando a limpá-lo.

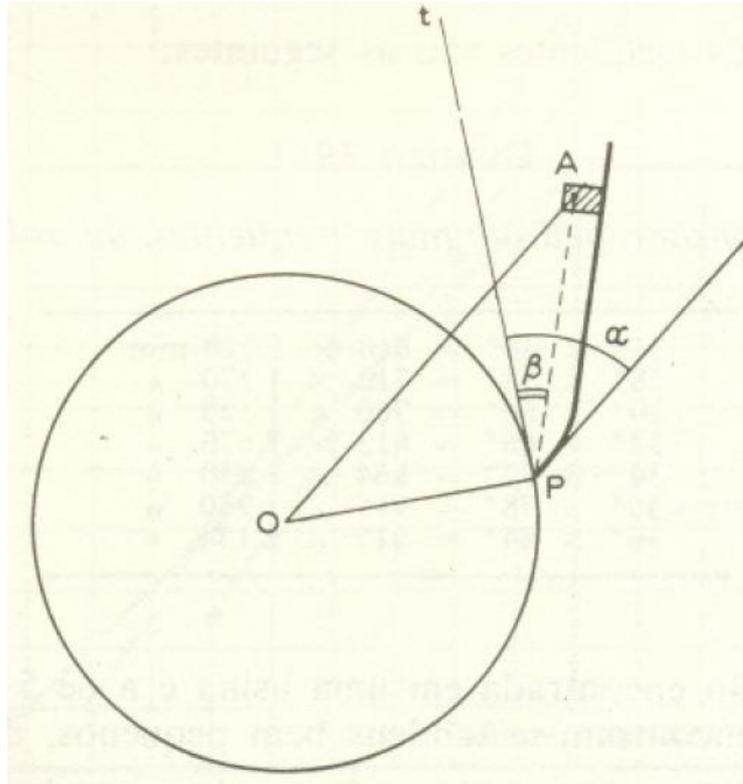
Figura 55 – Posicionamento dos pentes



Fonte: Adaptado de Hugot (1969)

Hugot (1969) comenta que o ângulo entre a reta tangente da superfície do rolo e a reta dos frisos do pente deve ser de 45 a 50°, conforme figura 56:

Figura 56 – Angulação dos pentes



Fonte: Hugot (1969)

3.2 Calha Donnelly

A Calha Donnelly ou Chute Donnelly (figura 58) é o sistema de alimentação das moendas. É uma calha localizada antes dos rolos de pressão e superior.

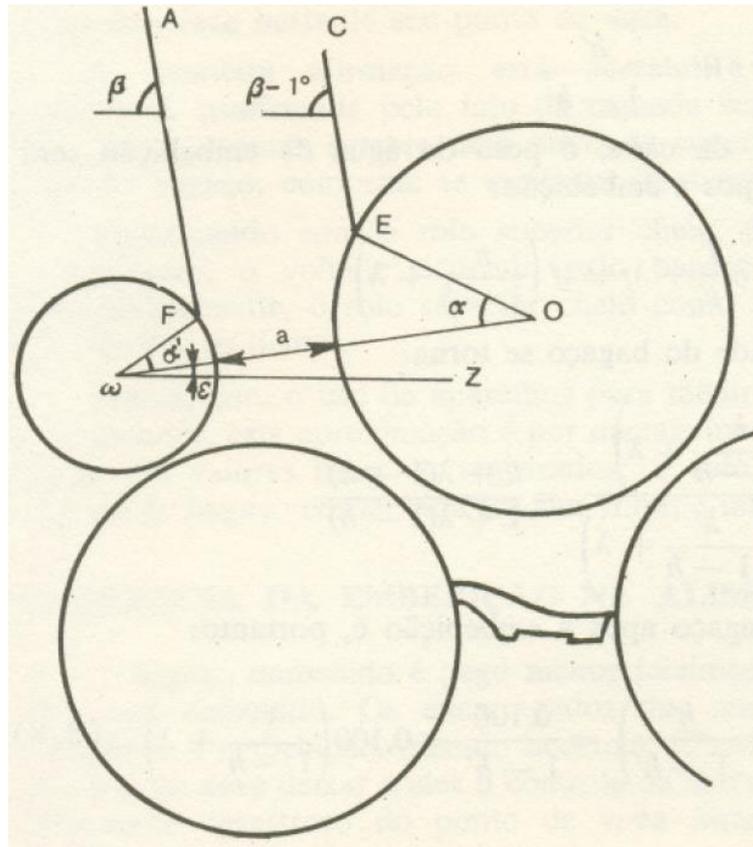
Conforme o Curso de operação de moendas, Copersucar (1999, p. 61):

É uma calha com certa altura, fechada totalmente, com seção transversal retangular e com abertura divergente no sentido de alimentação da moenda. Quando se enche a calha, pelo próprio peso formado pela coluna de cana preparada, a densidade no fundo elevar-se-á. Esta densidade é da ordem de 500 a 550 Kg/m³, tornando a alimentação eficiente e possibilitando elevada moagem e extração.

Esse próprio peso que a cana exerce sobre os rolos é considerada o “chute”. Vale ressaltar que a cana dentro da Calha Donnelly, ocupando cerca de 75 a 85% da calha, exercerá sobre os rolos uma cana homogênea e uniforme.

Na figura 57 pode-se observá-la entre os pontos A, F, C e E.

Figura 57 – Posição da Calha Donnelly



Fonte: Hugot (1969)

Figura 58 – Calha Donnelly



Fonte: <http://www.smar.com/newsletter/marketing/index43.html>

3.3 Extração

É a função prioritária do processo de moagem. Consiste em separar o máximo possível de caldo da cana.

Quanto maior a extração maior será a quantidade de caldo disponível para fábrica produzir álcool e/ou açúcar, bem como menor perda de caldo no bagaço.

Uma ótima extração inicia-se a partir de um bom preparo da cana, visto no capítulo 2, este valor circula em torno de 85 a 90% das células abertas.

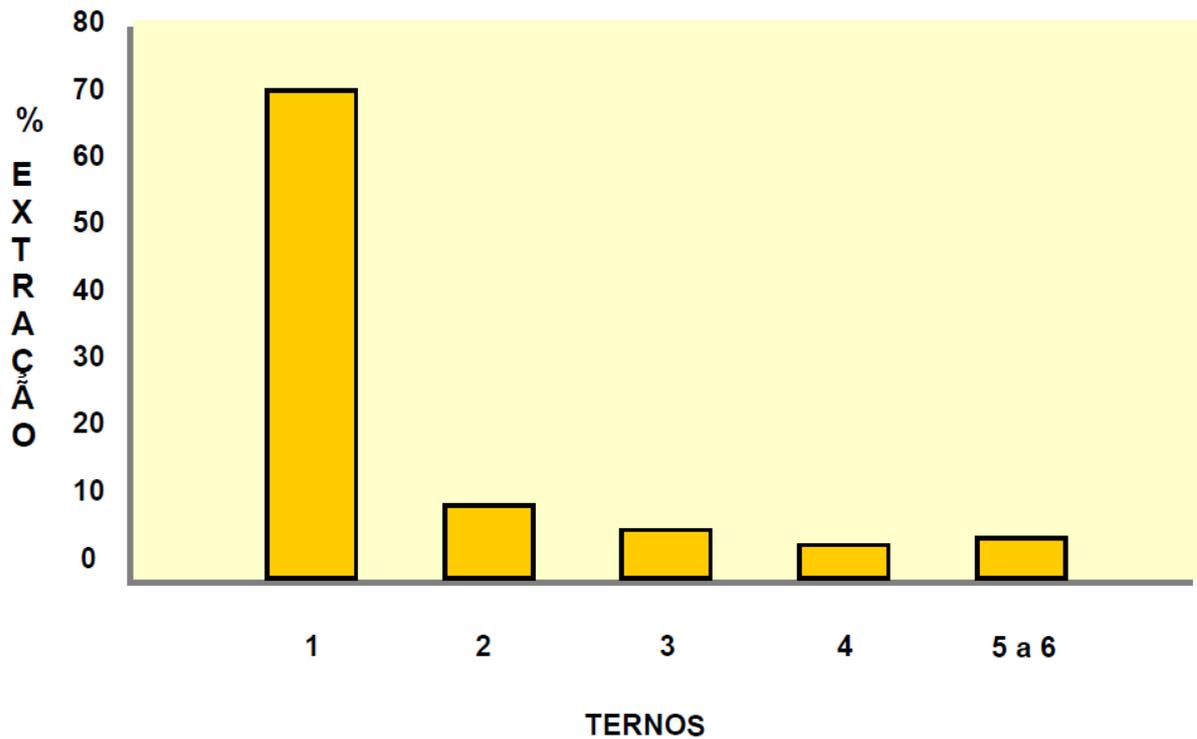
A extração pode ser calculada através da quantidade de pol extraído pela quantidade de pol contida na cana ou pela quantidade de ART extraído pela quantidade de ART contida na cana.

Como um terno extrairá em torno de 70% dos “açúcares” da cana é necessário que haja um terno após o outro, sempre extraindo a cana que já foi esmagada anteriormente.

Costuma-se utilizar moendas de cinco a seis ternos para elevar a extração. Uma ótima extração circula em torno de 96 a 97% tanto em ART quanto em pol.

Ribeiro (2003) demonstra o percentual de extração por terno conforme gráfico 2.

Gráfico 2 – Extração



Fonte: Ribeiro (2003)

A Fermentec utiliza o seguinte cálculo para extração:

$$E = \frac{\text{ART\%cana} - \left(\frac{\text{FC}}{\text{FB}}\right) * \text{ART\%bag}}{\text{ART\%cana}} \quad (16)$$

Onde:

E = Extração, em %;

ART%cana = ART contido na cana, em %;

FC = Fibra da cana, em %;

FB = Fibra do bagaço, em %;

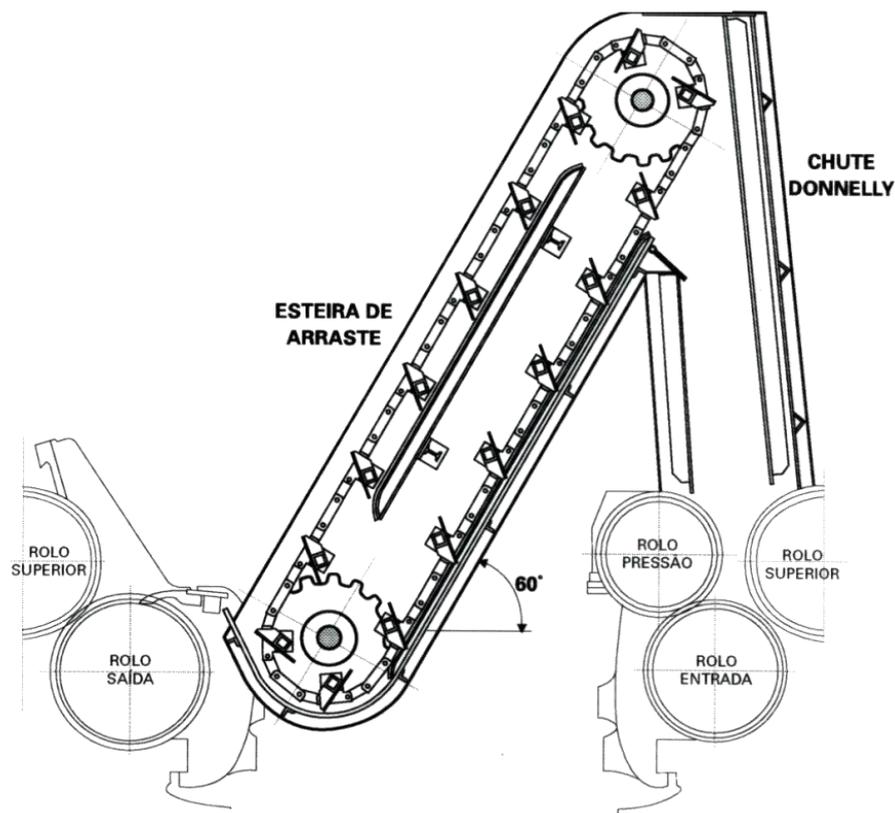
ART%bag = ART contido no bagaço, em %;

Nessa fórmula se pode notar que a extração e a fibra da cana são inversamente proporcionais, pois quanto maior a fibra da cana menor será a extração.

3.4 Esteira Intermediária de Arraste

As esteiras intermediárias ou condutores intermediários de arraste são os responsáveis por conduzir a passagem de cana após o terno de saída para o Chute Donnelly do próximo terno. As esteiras geralmente são do tipo de taliscas de arraste, conforme figuras 59 e 60:

Figura 59 – Esteira Intermediária



Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

O acionamento da esteira é realizado por polias e motor elétrico que fazem a rotação das correntes, onde estão contidas as taliscas.

Figura 60 – Esteira Intermediária



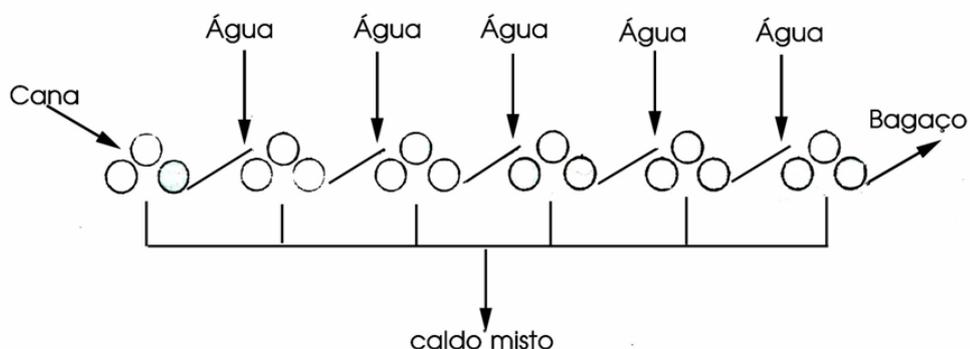
Fonte: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_extracao/aa-area-atuacao-extracao-esteira2.php

3.5 Embebição

Processo no qual a água ou caldo é aplicado ao bagaço que sai dos ternos das moendas, a fim de aumentar a extração de sacarose de um conjunto de moendas. A embebição pode ser simples quando é aplicada somente água como agente de embebição. A embebição pode ser composta, quando a água é aplicada somente antes do último terno de moenda, sendo o caldo extraído pelo último terno aplicado como embebição, no antepenúltimo terno assim sucessivamente até a saída do bagaço do primeiro terno de moenda. (MANELLA, 2012, p. 64).

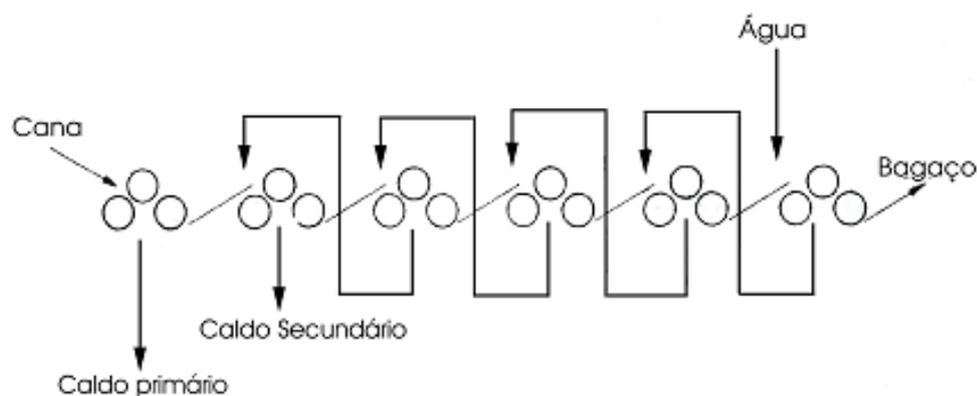
As figuras 61 e 62 demonstram o comentário acima.

Figura 61 – Embebição Simples



Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

Figura 62 – Embebição Composta



Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

A embebição utilizada na empresa estudada é a embebição composta, onde é adicionado água no último terno de moenda e o caldo que sai retorna ao penúltimo para embeber e assim até chegar ao segundo.

A fibra do bagaço absorve a água e quando é extraída novamente a água leva consigo o açúcar que estava ainda no bagaço, assim a embebição aumenta a capacidade de extração.

A água utilizada é proveniente do resíduo do processo de tratamento de caldo onde atinge temperaturas elevadas, para abaixar essa temperatura utiliza-se para misturar a água

bruta de alimentação da usina. Assim a temperatura ideal utilizada pelas usinas é de 60°C, pois segundo Payne (1989) a água deve ser a mais quente possível, porque dessa forma a fibra torna-se mais facilmente comprimida, porém recomenda que temperaturas elevadíssimas façam a fibra se tornar escorregadia e, portanto não alimentando bem o processo.

Outro fator importante da água de embebição é a quantidade de bactérias, onde um bom valor é em torno de 10^5 bastonetes/ml.

3.6 Gamelão

Gamelão (figura 63) é o termo dado às estruturas que recebem o caldo extraído (funil) e direcionam até os tanques pulmão (tubulações).

Devem ser de aço inox devido a acidez do caldo causar corrosões em aço carbono.

Figura 63 – Exemplo de gamelão



Fonte: <http://www.centurydobrasil.com.br/aplicacoes/gamelao.html>

CAPÍTULO 4 – ACIONAMENTO DAS MOENDAS A VAPOR

Hugot (1969) comenta que o acionamento a vapor em moendas foi utilizado pela primeira vez em 1947 e os resultados foram satisfatórios. Assim se difundiu rapidamente se tornando o sistema mais empregado.

Vantagens encontradas utilizando acionamento a vapor por Hugot (1969):

- Em relação ao acionamento elétrico há economia de 10 a 15% da energia absorvida pelas moendas. Este sistema é o de menor consumo de vapor;
- Admite uma ampla escala de variação das velocidades individuais das moendas, sem prejudicar muito o rendimento;
- Apesar de o acionamento a vapor ser mais caro que o elétrico, há a economia em relação aos cabos elétricos, turboalternador e painéis elétricos;
- Bom torque de arranque, vapor de escape livre de óleo, ocupa pouco espaço e pouco pessoal de supervisão e de manutenção.

4.1 Geração de Vapor

Por muitos anos o resíduo bagaço era um problema para as empresas, devido seu alto volume e pouca utilização, então houve se a criação das caldeiras alimentadas por bagaço de cana. Assim o consumo de bagaço para geração de vapor garantiu o controle do estoque do resíduo.

O poder calorífico do bagaço situa-se em torno de 4.600 kcal/kg, considerando a umidade do mesmo com 50% e com essa umidade a densidade do bagaço é de 1.000 kg/m³.

Na usina estudada o consumo de vapor da planta industrial é de aproximadamente 520 kg vapor/TC, a geração de vapor situa-se em 2,2 Ton vapor/Ton bagaço e a quantidade de bagaço por tonelada de cana é de 26% (depende muito da quantidade de fibra na cana).

Considerando os dados descritos no parágrafo acima a usina estudada com sua moagem de 700 TCH produzirá por hora 182 toneladas de bagaço e consumirá 364 toneladas de vapor. Para a geração dessa quantidade de vapor é necessário apenas 165 toneladas de bagaço, assim por hora há a sobra de 17 toneladas de bagaço.

Porém deve-se lembrar de que há a necessidade de se deixar um estoque de segurança de bagaço para início de queima nas caldeiras em caso de paradas do processo e perdas de queima.

4.2 Cogeração de Energia

A cogeração de energia é uma das grandes inovações do setor sucroalcooleiro, pois além da empresa utilizar o bagaço para gerar vapor há a utilização desse vapor para girar os eixos das turbinas transformando a energia mecânica em elétrica nos geradores, podendo assim abastecer energeticamente a empresa e vender o excedente para as empresas responsáveis pela distribuição local.

O vapor necessário para a rotação das turbinas é o vapor de pressão de 62 kgf/cm².

O consumo estipulado de energia elétrica pela empresa é de cerca de 15 MW/TC, quanto a geração dependerá da quantidade de vapor e da quantidade e modelo dos geradores. O resultante da subtração da geração pelo consumo resulta na exportação de energia elétrica (venda).

Assim pode-se dizer que através da geração de vapor pela a queima de bagaço e da geração de energia pelo consumo de vapor as usinas são empresas que visam um bom relacionamento com as questões ambientais.

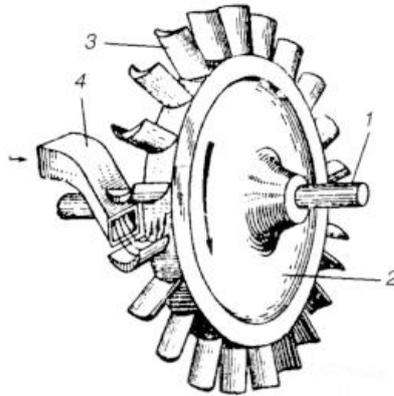
4.3 Turbina

As turbinas são responsáveis pela transformação da energia térmica proveniente do vapor das caldeiras em energia mecânica.

A usina estudada como exemplo possui em cada moenda três turbinas. As turbinas da moenda 54 possuem rotação de 5.000 RPM e da moenda 66 possuem 6.000 RM.

A figura 65 ilustra uma turbina a vapor e a figura 64 o detalhamento da mesma.

Figura 64 – Esquemática de uma turbina a vapor



Fonte: adaptado de http://www.feng.pucrs.br/lsfm/alunos/luc_gab/turbinas.html

O vapor é inserido através da entrada indicada pelo número 4, com isso há o início à movimentação das pás indicadas pelo número 3. Assim automaticamente o eixo (número 1) tem início a sua rotação.

Figura 65 – Turbina a vapor



Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

As turbinas da empresa estudada operam com vapor de pressão de trabalho de 21 kgf/cm² e resulta em vapor de escape de 1,5 kgf/cm².

4.4 Redutor de velocidade

São equipamentos constituídos de várias engrenagens e tem a função de reduzir a velocidade de rotação a partir da turbina, porém mantém a mesma potência que é a força transmitida através dos eixos e engrenagens. Acoplado ao redutor há uma bomba de óleo para lubrificação e resfriamento dos mancais da turbina e redutor, além de acionar e regular as válvulas da turbina. Existe também uma bomba de óleo acionada por motor elétrico o qual exerce a mesma função anterior servindo para lubrificar os mancais na partida/parada. (MANELLA, 2012, p. 99).

O redutor de velocidade reduz a velocidade proveniente da turbina a uma constante de 7,35 vezes, ou seja, a velocidade de 4.000 a 5.000 RPM reduz após o redutor para cerca de 540 a 680 RPM.

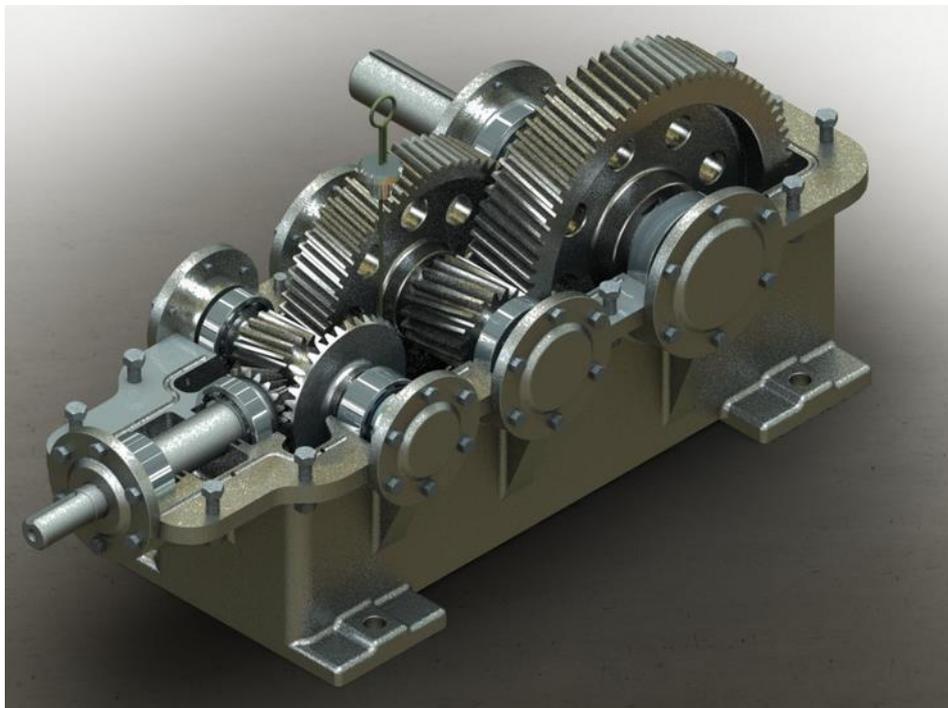
Abaixo segue figura 66 e 67 demonstrando um redutor fechado e outro aberto respectivamente.

Figura 66 – Redutor de Velocidade



Fonte: <http://www.transmiservice.com.br/#noticias>

Figura 67 – Exemplo de conjunto de engrenagens do redutor



Fonte: <http://communities.autodesk.com/brazil/category/keywords/redutor-de-velocidade>

4.5 Engrenagem

Após o redutor há diversas engrenagens bi-helicoidais ou de dentes retos, combinando pinhões e coroas, que, segundo Manella (2012), possuem funções semelhantes, como reduzir a velocidade e transmitir potência das turbinas aos rolos.

O pinhão e coroa são nomes atribuídos quando há engrenagens em contato, onde as engrenagens menores são conhecidas como pinhões e as maiores coroas. No caso das usinas as coroas recebem o nome de volandeiras.

Em sequência dos eixos das volandeiras estão acoplados os rolos superiores dos ternos. Ou seja, para cada terno há uma volandeira. Não necessariamente haverá uma turbina ou um redutor de velocidade para cada terno, pois as usinas podem fazer diversas combinações com as engrenagens, assim proporcionando até quatro ternos interligados há uma única turbina e redutor.

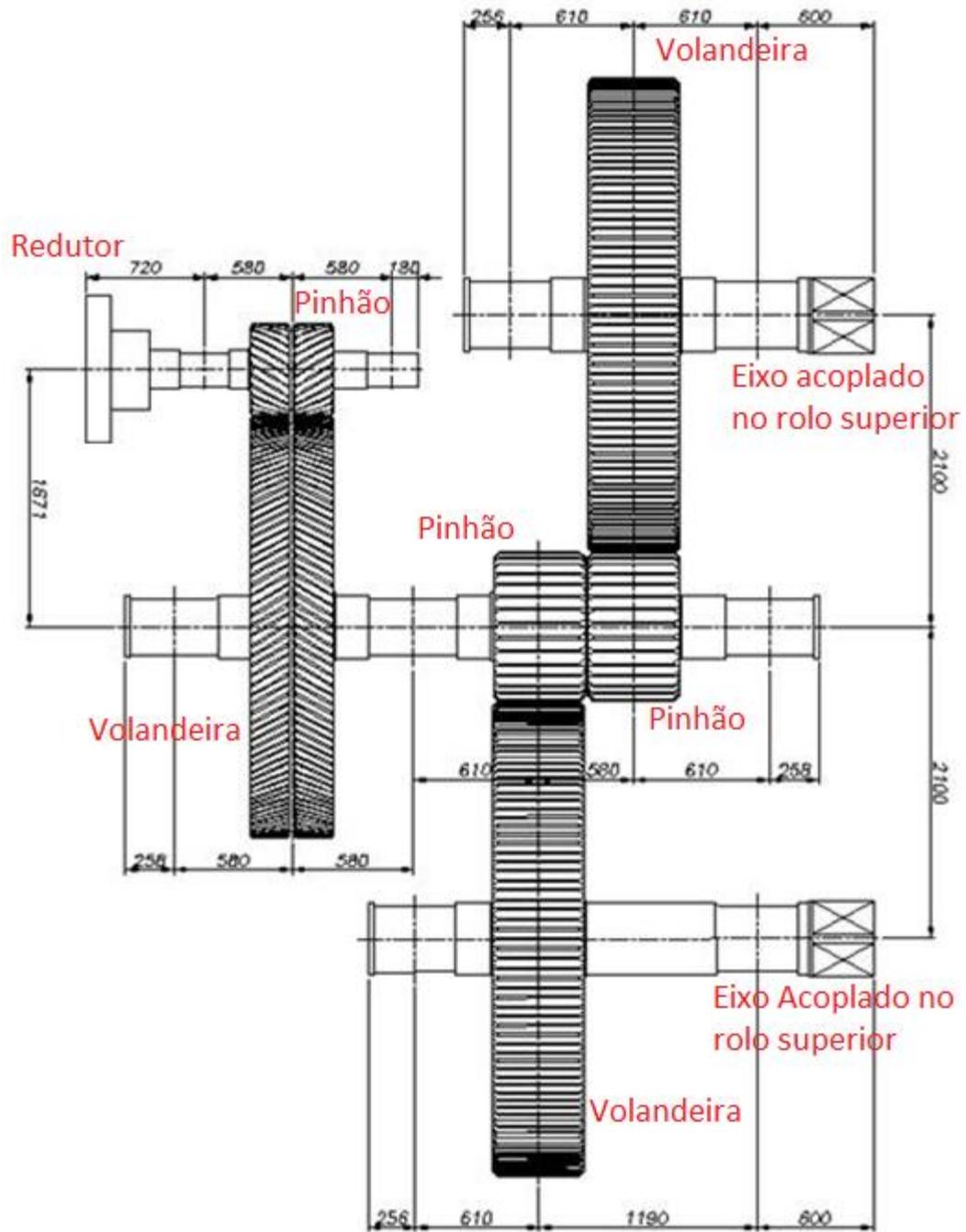
A vantagem de intercalar mais de um terno a uma turbina/redutor garante a instalação maior economia, porém menor flexibilidade, por exemplo, caso a turbina, o redutor

ou uma das engrenagens estejam em manutenção causará parada em mais de um terno, fazendo assim diminuição de extração do caldo da cana.

A usina estudada possui seis turbinas, sendo três em cada moenda e cada turbina é responsável pela rotação de dois ternos, exceto o último terno da moenda 66, que é acionada por uma única turbina.

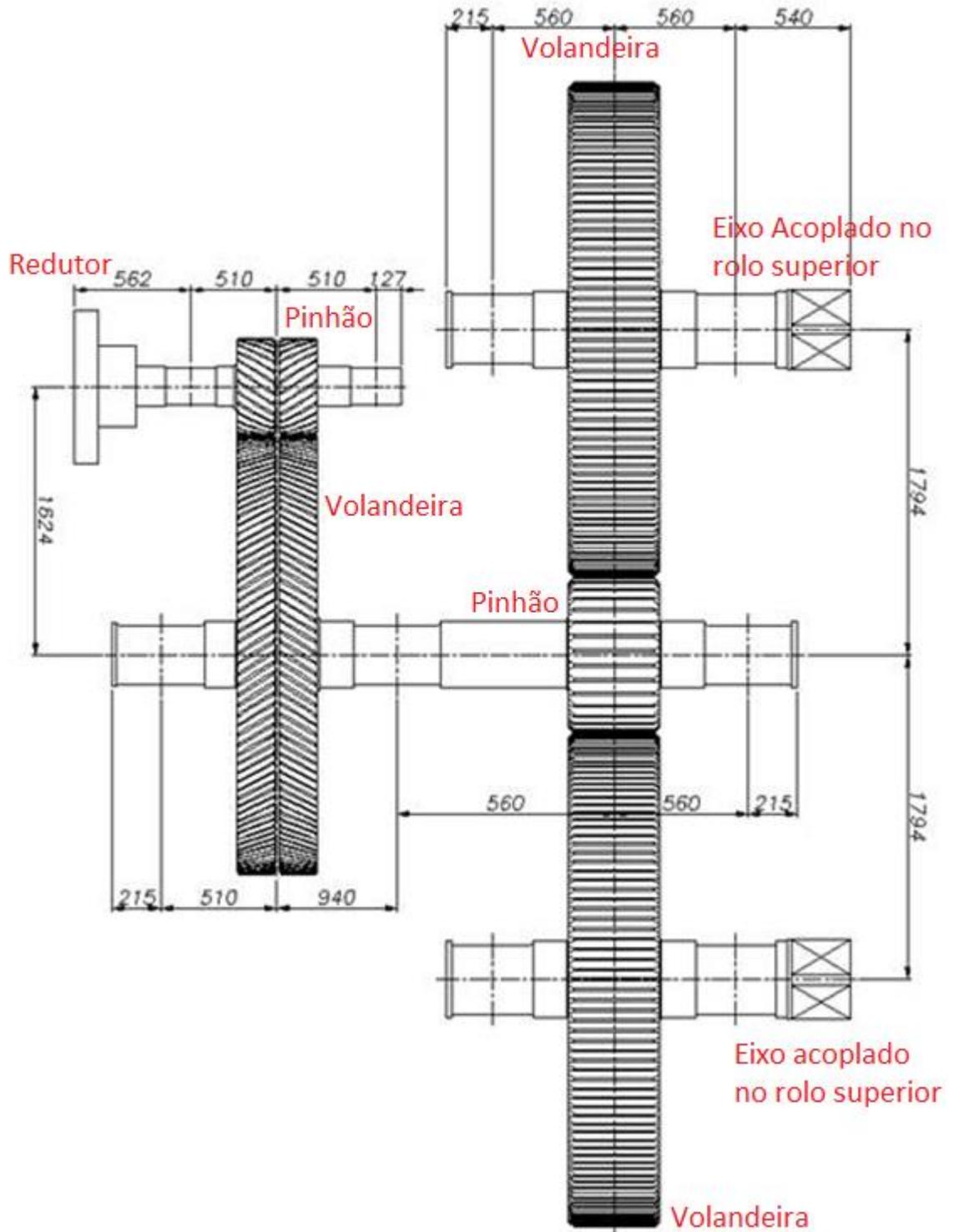
As engrenagens da usina estudada possuem esses dois tipos de layout representados pelas figuras 68 e 69 (exceto o último terno da moenda 66 que possui uma turbina exclusiva para seu acionamento):

Figura 68 – Layout com três pinhões



Fonte: Desenho da empresa em estudo fornecido pela empresa Dedini S/A Indústrias de Base

Figura 69 – Layout com dois pinhões



Fonte: Desenho da empresa em estudo fornecido pela empresa Dedini S/A Indústrias de Base

As engrenagens precisam de lubrificação constante para isso devem-se manter as engrenagens envolvidas por óleo de alta densidade. Essa lubrificação ocorre por intermédio de envelopes, que são proteções que cobrem toda a engrenagem e permitem estoque de óleo em sua base, assim quando a engrenagem gira sobre esse óleo ela o carrega consigo.

4.6 Acoplamento

De acordo com Manella (2012) os acoplamentos têm a função de transmitir torque (força) da volandeira para o rolo superior de cada moenda.

Os acoplamentos devem estar preparados para sofrerem oscilações quanto à altura do rolo superior devido às oscilações de moagem e também estarem preparadas quanto às paradas bruscas.

Antigamente os acoplamentos eram constituídos de uma luva na volandeira, um palito e outra luva para o rolo superior, conforme figura 70:

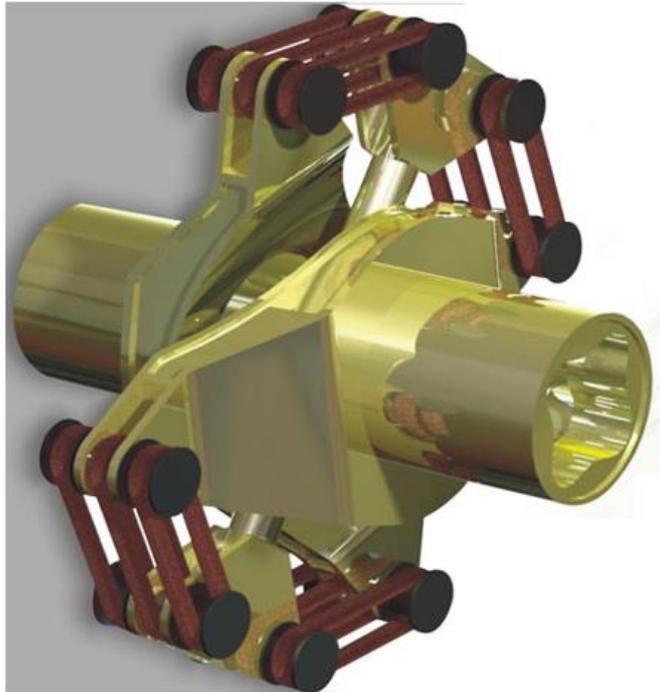
Figura 70 – Exemplo de Acoplamento de luvas e palito



Fonte: Adaptado de <http://www.tecotextil.com.br/cintas-da-tecotextil-consolidam-inovacao-setor-sucroalcooleiro/>

Atualmente as empresas têm procurado outro sistema de acionamento, o acionamento elástico (figura 71), devido a maior flexibilidade e maior capacidade de absorção das oscilações do rolo superior. Esse acoplamento é fabricado em aço carbono e possui cintas de poliéster.

Figura 71 – Acionamento elástico



Fonte: <http://www.simisa.com.br/home/produtos.php?id=83>

4.7 Rodete

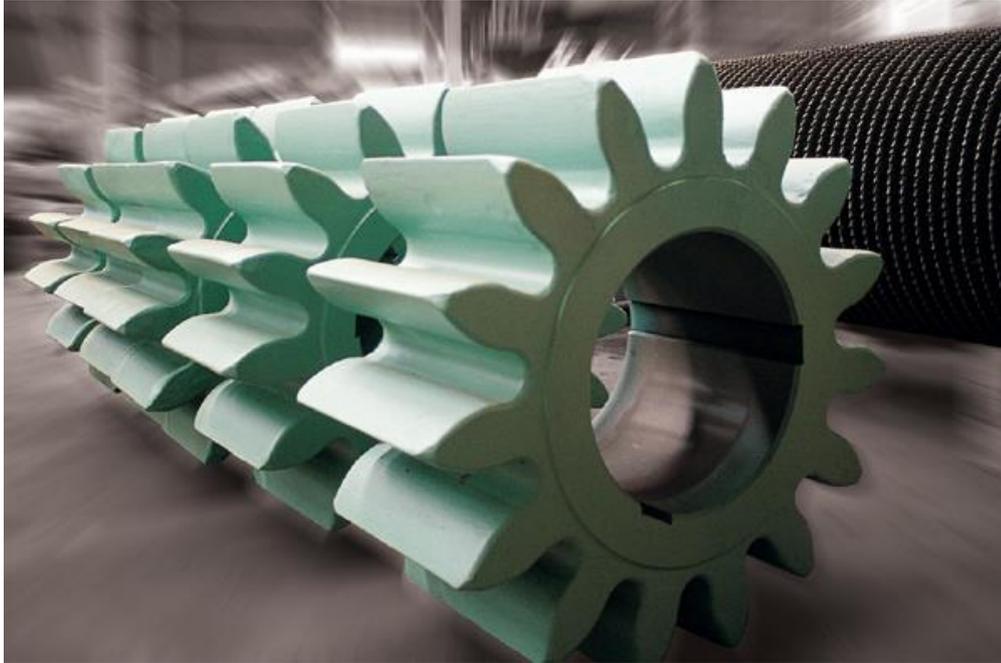
Hugot (1969) define que os rodetes são os pinhões fixados nos eixos dos rolos e que permitem o acionamento dos rolos inferiores e do rolo de pressão.

Como o acionamento das moedas é realizado apenas nos rolos superiores é função desses acionar os demais.

A empresa estudada possui em cada terno cinco rodetes. Pois o acionamento do rolo de pressão é posicionado do lado contrário ao acionamento dos rolos inferiores, portanto um rodete em cada rolo e o rolo superior possui dois.

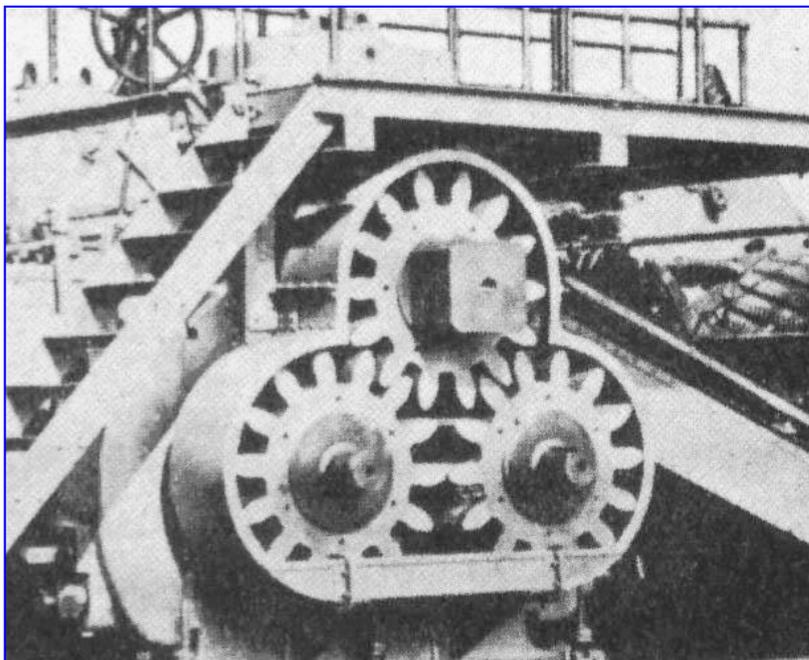
As figuras 72 e 73 demonstram exemplos de rodetes.

Figura 72 – Rodetes



Fonte: <http://www.simisa.com.br/home/produtos.php>

Figura 73 – Posição dos rodetes (terno sem rolo de pressão)



Fonte: <http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf>

CAPÍTULO 5 – CONTROLE

Para um bom controle no processo de moagem deve-se verificar sempre os dados da matéria-prima, a capacidade de moagem, a quantidade de cana moída, a porcentagem de extração, as perdas de pol no bagaço, os valores de embebição de água, a regulagem dos ternos, a solda de reparo dos picotes, entre outros.

5.1 Capacidade

Hugot (1969) define a capacidade de moagem como a quantidade de cana que a moenda é capaz de moer em uma unidade de tempo. Geralmente, é calculada em toneladas de cana por hora (TCH).

Brunelli (2011) explica que a capacidade de moagem é influenciada por dois quesitos: mecânico e matéria prima.

A parte mecânica está associada as dimensões dos rolos como diâmetro e comprimento e também associada as rotações dos rolos.

Já em relação à matéria-prima há a influência da fibra (subitem 1.5) e densidade da cana desfibrada. Onde aumentando a fibra e/ou diminuindo a densidade conseqüentemente diminuirá a capacidade de moagem.

A densidade da cana desfibrada é facilmente afetada pela preparação da cana (Capítulo 2), pela isoporização (florescimento da cana) e pelas impurezas vegetais (subitem 1.6).

A capacidade de moagem também é afetada pelas condições da empresa, como entrada de cana insuficiente pelo setor agrícola, quantidade de caldo acima do limite do valor de entrada do setor posterior, alta quantidade de água adicionada na embebição, limite de RPM dos rolos (aquecimento) e das turbinas, problemas mecânicos, entre outros.

A seguir segue a fórmula da capacidade de moagem definida por Brunelli (2011):

$$A = \frac{47,12 * D^2 * L * n}{\frac{0,97}{d} - \frac{7,422}{f}} \quad (17)$$

Onde:

A = Capacidade de moagem, em TCH;

D = Diâmetro do rolo, em m²;

L = Comprimento do rolo, em m;

n = Rotações do rolo, em RPM;

d = densidade da cana desfibrada, em ton/m³;

f = fibra da cana, em relação à unidade;

Na tabela 2 é demonstrada a transformação das medidas dos rolos em metro e abaixo seguem tabelas simulando a capacidade das moendas 54 e 66 da usina estudada de acordo com variações da rotação dos rolos (tabela 3), densidade da cana desfibrada (tabela 4) e quantidade de fibra (tabela 5).

Tabela 2 – Dimensões dos rolos das moendas

Moenda 54		
Unidade	Polegada	metro
L comprimento	54	1,37
D diâmetro	30	0,76
D ² diâmetro ao quadrado	900	0,58

Moenda 66		
Unidade	Polegada	metro
L comprimento	66	1,68
D diâmetro	34	0,86
D ² diâmetro ao quadrado	1.156	0,75

Fonte: O autor

Tabela 3 – Capacidade Influenciada pela rotação dos rolos

Moenda 54					
Rotação (RPM)	5	6	7	8	9
densidade (ton/m ³)	0,540	0,540	0,540	0,540	0,540
fibra (%)	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
TCH	156	187	218	250	281

Moenda 66					
Rotação (RPM)	5	6	7	8	9
densidade (ton/m ³)	0,540	0,540	0,540	0,540	0,540
fibra (%)	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
TCH	245	294	343	392	441

Fonte: O autor

Tabela 4 – Capacidade Influenciada pela densidade da cana desfibrada

Moenda 54					
Rotação (RPM)	8	8	8	8	8
densidade (ton/m ³)	0,400	0,450	0,500	0,550	0,600
fibra (%)	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
TCH	164	192	223	257	293

Moenda 66					
Rotação (RPM)	8	8	8	8	8
densidade (ton/m ³)	0,400	0,450	0,500	0,550	0,600
fibra (%)	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
TCH	257	302	350	403	461

Fonte: O autor

Tabela 5 – Capacidade Influenciada pela fibra da cana

Moenda 54					
Rotação (RPM)	8	8	8	8	8
densidade (ton/m ³)	0,540	0,540	0,540	0,540	0,540
fibra (%)	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00
TCH	268	255	245	237	231

Moenda 66					
Rotação (RPM)	8	8	8	8	8
densidade (ton/m ³)	0,540	0,540	0,540	0,540	0,540
fibra (%)	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00
TCH	420	400	385	372	362

Fonte: O autor

A tabela 6 representa a capacidade de moagem mais próxima da realidade da empresa estudada.

Tabela 6 – Capacidade mais próxima da realidade da empresa

Moenda 54	
Rotação (RPM)	8,5
densidade (ton/m ³)	0,550
fibra (%)	12,80
TCH	269

Moenda 66	
Rotação (RPM)	8,5
densidade (ton/m ³)	0,560
fibra (%)	12,80
TCH	435

Fonte: O autor

5.2 Produção

Como dito acima a capacidade de moagem é calculada pela quantidade de cana moída por hora (TCH). Porém essa capacidade não representa que a moenda trabalhará todo o tempo com essa produção.

Assim aparece um novo fator: Aproveitamento de tempo.

O aproveitamento de tempo é o valor que representa, em porcentagem, a quantidade de tempo que realmente a moenda operou (tempo efetivo), ou seja, desconsiderando as paradas, em relação ao total de tempo corrido (tempo total), conforme fórmula:

$$AT = \frac{TE}{TT} \quad (18)$$

Onde:

AT = Aproveitamento de Tempo, em %;

TE = Tempo Efetivo, em horas;

TT = Tempo Total, em horas.

O aproveitamento de tempo médio das usinas é em torno de 85%. Os principais fatores que interferem nas paradas são: Chuvas (que evitam a colheita), paradas programadas

para manutenções, falhas operacionais, problemas mecânicos, elétricos e de automação e falha do setor agrícola em relação à entrega de cana.

Para obtenção da estimativa de produção da safra precisa-se do TCH, do aproveitamento de tempo e da quantidade de dias desejados na safra e multiplicá-los por 24 horas. Conforme fórmula:

$$\text{Moagem de safra} = \text{TCH} * \text{AT} * \text{dias de safra} * 24$$

(19)

Onde a moagem de safra é obtida em toneladas de cana.

Por exemplo: Uma usina tem capacidade de moer 700 toneladas de cana por hora, seu tempo estimado efetivo é de 82% e a quantidade de dias na safra de 240 dias. Portanto a produção estimada será de 3.306.240 toneladas de cana.

5.3 Recuperação

Durante a operação de moagem ocorrem três tipos de desgastes: Mecânico e Corrosivo.

O desgaste mecânico devido ao atrito com a quantidade de cana moída, de fibra na cana, de impurezas minerais, metálicas e vegetais ocorrem nas facas, martelos, pentes, bagaceiras, frisos dos rolos, entre outros. O desgaste mecânico ainda pode ocorrer devido o atrito de peça com peça, por exemplo, engrenagens, rodetes, flanges e em outros caso não estejam ajustados esse desgaste pode ser ainda maior. O desgaste está associado também à qualidade dos materiais da moenda.

O desgaste corrosivo afeta apenas os materiais que entram em contato direto com o caldo, pois o caldo da cana possui pH em torno de 5,3 (ácido).

A solução para o desgaste dos materiais é a recuperação dos mesmos através de revestimentos com soldas.

Essa aplicação é realizada quando há paradas programadas e/ou durante o reparo de entressafra.

As figuras 74 e 75 representam recuperação de pentes e rodetes respectivamente.

Figura 74 – Recuperação de Pentes



Fonte: http://www.bohlersoldabrasil.com.br/maio_2011/artigo1.html

Figura 75 – Recuperação de rodetes



Fonte: http://www.djsequipamentosindustriais.com.br/servicos_recuperacao_rodetes.html

5.4 Chapisco

O chapisco é a aplicação de solda nos frisos dos rolos durante operação da moenda e uma boa aplicação de chapisco é, aproximadamente, de 7 a 9 g/TC.

Essa aplicação tem como finalidade:

- Fazer com que a cana prenda com mais facilidade nos frisos, conforme figura 76;
- Proteção dos frisos contra desgastes mecânico e corrosivo;
- Aumentar a porcentagem de extração do caldo.

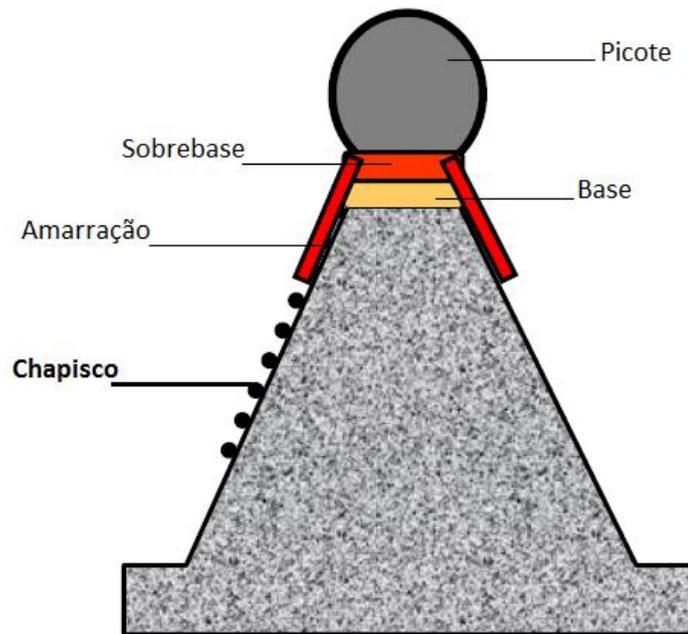
Figura 76 – Comparativo da quantidade de cana entre os frisos



Fonte: Adaptado de http://www.bohlersoldabrasil.com.br/novembro_2011//artigo_1.html

A figura 77 ilustra o local correto da aplicação do chapisco.

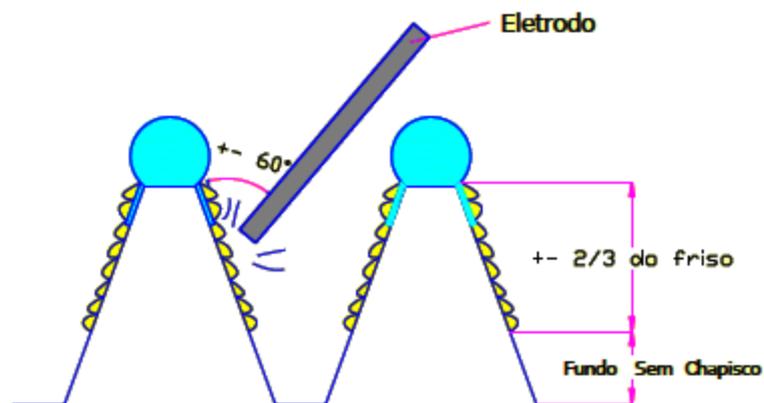
Figura 77 – Local de aplicação do Chapisco no friso



Fonte: Adaptado de A influência do chapisco no resultado da extração, sem data

O chapisco não deve ser aplicado próximo ao fundo do friso, pois desgastará os pentes e bagaceiras devido ao atrito, portanto sua aplicação segue conforme figura 78.

Figura 78 – Aplicação correta de chapisco



Fonte: Adaptado de A influência do chapisco no resultado da extração, sem data

5.5 Perda de Pol no Bagaço

A perda de pol no bagaço é o resultante da extração. Ou seja, quanto mais pol extrair da cana menos pol terá o bagaço.

É um parâmetro utilizado pelas empresas para verificar a eficiência das moendas. A usina estudada obteve durante a safra de 2.012 valores de 4,72 kg de pol/TC na moenda 54 (moenda que possui seis ternos de moagem) e 4,95 kg de pol/TC na moenda 66 (moenda que possui cinco ternos).

Os cálculos abaixo para atingir o valor da perda de pol no bagaço foram desenvolvidos pela equipe da Azevedo Engenharia.

Cálculo da relação de fibra no bagaço da cana:

$$FB = 100 - \frac{PB * 100}{PZ} + UB \quad (20)$$

Onde:

FB = Fibra%bagaço, em %;

PB = Pol%bagaço, em %;

PZ = Pureza, em %, recomendado utilizar 75%;

UB = Umidade bagaço final, em %.

Cálculo da relação de bagaço contido na cana:

$$BC = \frac{FC}{FB} * 100 \quad (21)$$

Onde:

BC = Bagaço%cana, em %;

FC = Fibra da cana, em %.

Cálculo da quantidade de pol do bagaço contido na cana:

$$\text{Perda} = \frac{PB}{100} * BC * 10 \quad (22)$$

Onde:

Perda = Perda de pol no bagaço, em kg de pol/TC.

Exemplo: Valores de entrada:

PB = 1,8%; PZ = 75%; UB = 51%; f = 12,5%.

Assim os valores resultantes serão:

FB = 46,60%; BC = 0,27%; Perda = 4,83 kg de pol/TC.

O cálculo de extração segundo a Azevedo Engenharia é baseado na quantidade de pol da extraído cana pela quantidade de pol na cana. Fórmula:

$$\text{Extração} = \frac{\text{PC} - (\text{Perda} * 0,1)}{\text{PC}} * 100 \quad (23)$$

Onde:

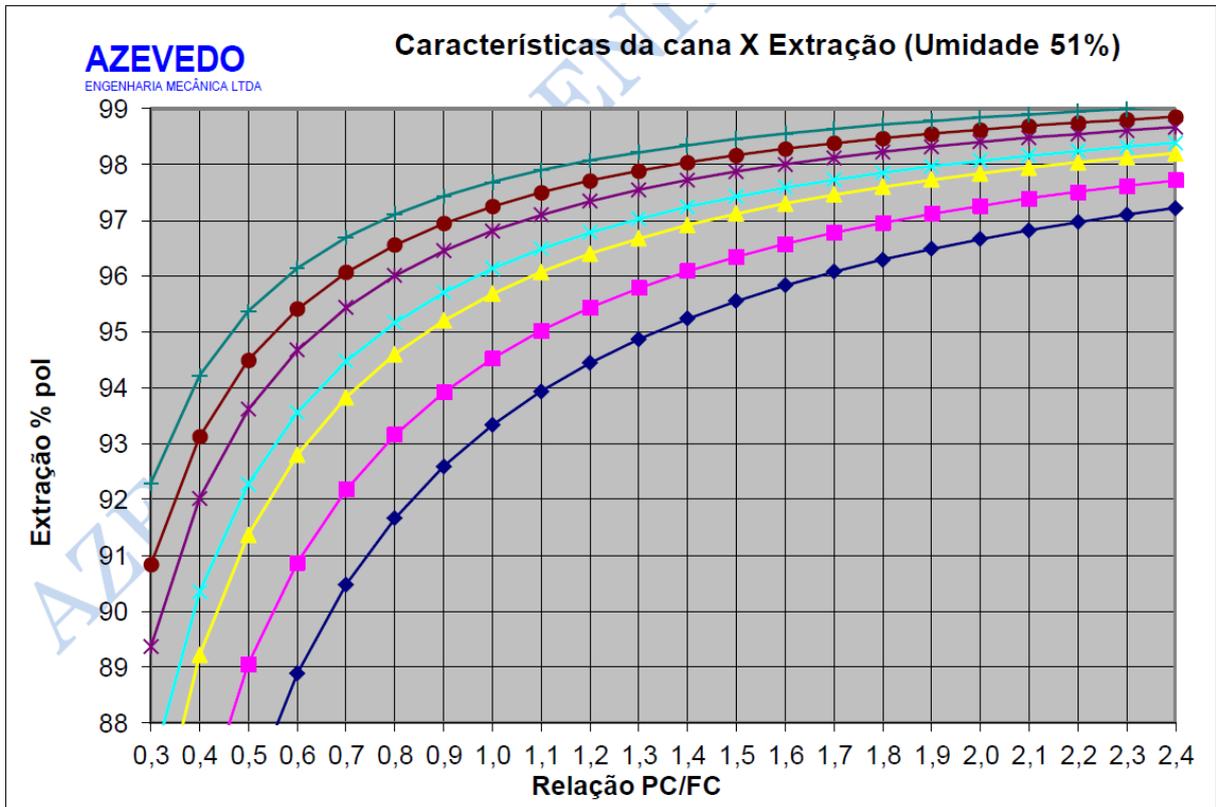
Extração = Extração de pol da cana, em %;

PC = Pol% cana, em %.

No exemplo acima, adotando um valor de Pol da cana de 14%, o valor da extração será de 96,55%.

Desse modo a Azevedo Engenharia desenvolveu o gráfico 3 correlacionando à relação de PC/FC com a Extração do Caldo.

Gráfico 3 – Característica da matéria-prima correlacionada com a Extração



Fonte: Cálculo das Perdas no Bagaço, Azevedo Engenharia (sem data)

Ou seja, quanto maior a pol da cana maior será a extração e quanto maior a fibra da cana menor será a extração.

5.6 Umidade do bagaço

Um dos pontos de controle da moagem é a umidade do bagaço.

Pois um valor elevado de umidade dificulta a eficiência da caldeira e, como visto no subitem 5.5, quanto maior a umidade maior a perda de pol no bagaço. A tabela 7 representa tal correlação.

Tabela 7 – Perda de pol no bagaço x Umidade do bagaço

	Ex:1	Ex:2	Ex:3
Pol%bagaço	1,80	1,80	1,80
Umidade Bagaço	48,00	50,00	51,00
Pureza	75,00	75,00	75,00
Fibra%cana	12,50	12,50	12,50
Perda	4,54	4,73	4,83

Fonte: O autor

Segundo Ribeiro (2003) o valor ideal para a umidade do bagaço é 48 a 50%.

Para reduzir a umidade do bagaço deve-se controlar a quantidade de embebição, valor da extração, vazamento de caldo pelo pente superior, pressão hidráulica irregular e qualidade da matéria-prima.

5.7 Regulagem

Hugot (1969) define que a regulagem das moendas consiste na determinação das posições relativas mais favoráveis dos rolos e da bagaceira, a fim de alcançar as melhores condições de alimentação e os melhores resultados de extração.

O autor ressalta que a regulagem é uma operação delicada e importante. Uma boa regulagem é indispensável para obter um bom funcionamento da moenda, isto é, um andamento regular, sem engargos e uma extração conveniente.

A regulagem compreende duas operações principais: regulagem das aberturas de entrada e saída e regulagem da bagaceira.

5.7.1 Regulagem das aberturas de entrada e saída

O rolo de entrada é um equipamento de alimentação; o rolo de saída um equipamento de pressão. A abertura de entrada deve, evidentemente, ser maior que a abertura de saída: dando-lhes o mesmo valor, ou a vazão da moenda seria muito baixa (aberturas pequenas), ou a pressão seria muito deficiente (aberturas grandes). (HUGOT, 1969, p. 287).

O cálculo segundo o Curso de Operação de Moendas da Copersucar (1999) para abertura da saída do terno é:

$$S' = \frac{9,5 * A * FC}{\left(\frac{\pi * (Dtp + Dsp) * n}{2000}\right) * L * FB} \quad (24)$$

Onde:

S' = Abertura de saída, em mm;

Dtp = Diâmetro externo do rolo superior, em mm;

Dsp = Diâmetro externo do rolo de saída, em mm.

Cálculo de abertura de entrada:

$$E' = W * S' \quad (25)$$

Onde:

E' = Abertura de entrada, em mm;

W = Constante (varia de 1,8 a 2,3).

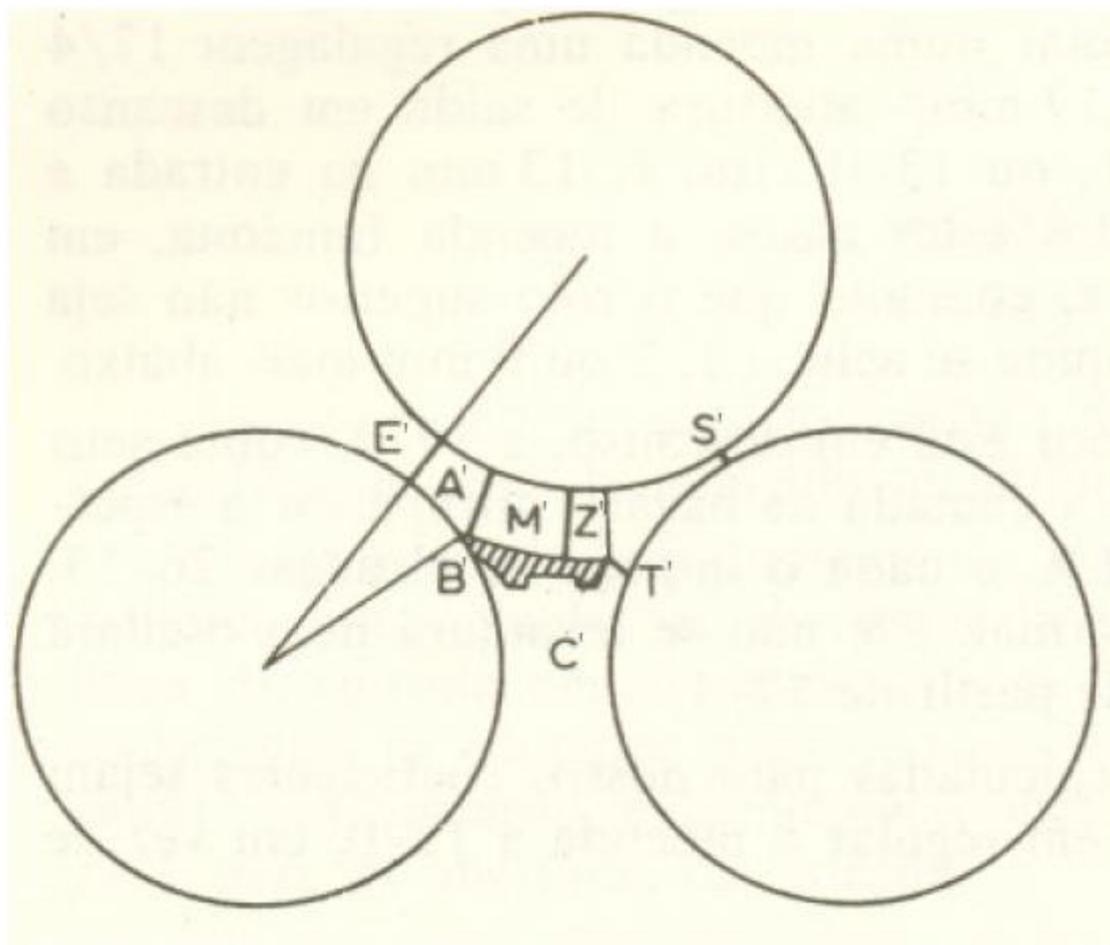
5.7.2 Regulagem da bagaceira

De acordo com o Curso de Operação de Moendas da Copersucar (1999, p.134):

Se a bagaceira for posicionada muito alta, a carga sobre o rolo superior é muito elevada, ocorrendo desgaste acentuado da mesma, aumentando a potência absorvida e sufocando a passagem de bagaço, resultando, portanto em alimentação deficiente da moenda. Se a bagaceira for posicionada muito baixa, o bagaço ao passar sobre ela não é comprimido suficientemente para impedir que o rolo superior deslize sobre a camada de bagaço resultando em embuchamento nessa região.

A figura 79 demonstra a localização da bagaceira e as distâncias com suas respectivas relações em relação à abertura de entrada:

Figura 79 – Localização da Bagaceira



Fonte: Adaptado de Hugot (1969)

Onde:

E' = Abertura em atividade entre os rolos de entrada;

A' = Altura do rolo superior aos dentes da bagaceira (proporção de 1,5:1);

M' = Altura no plano axial vertical do rolo superior (proporção de 1,75:1);

Z' = Altura do rolo superior à parte posterior da bagaceira (proporção de 1,9:1);

T' = Distância do rolo de saída à parte posterior da bagaceira (proporção de 0,8:1).

Por exemplo, se a abertura de entrada (E') for de 44 mm a regulagem da bagaceira deve ser:

$$A' = 1,50 * 44 = 66 \text{ mm};$$

$$M' = 1,75 * 44 = 77 \text{ mm};$$

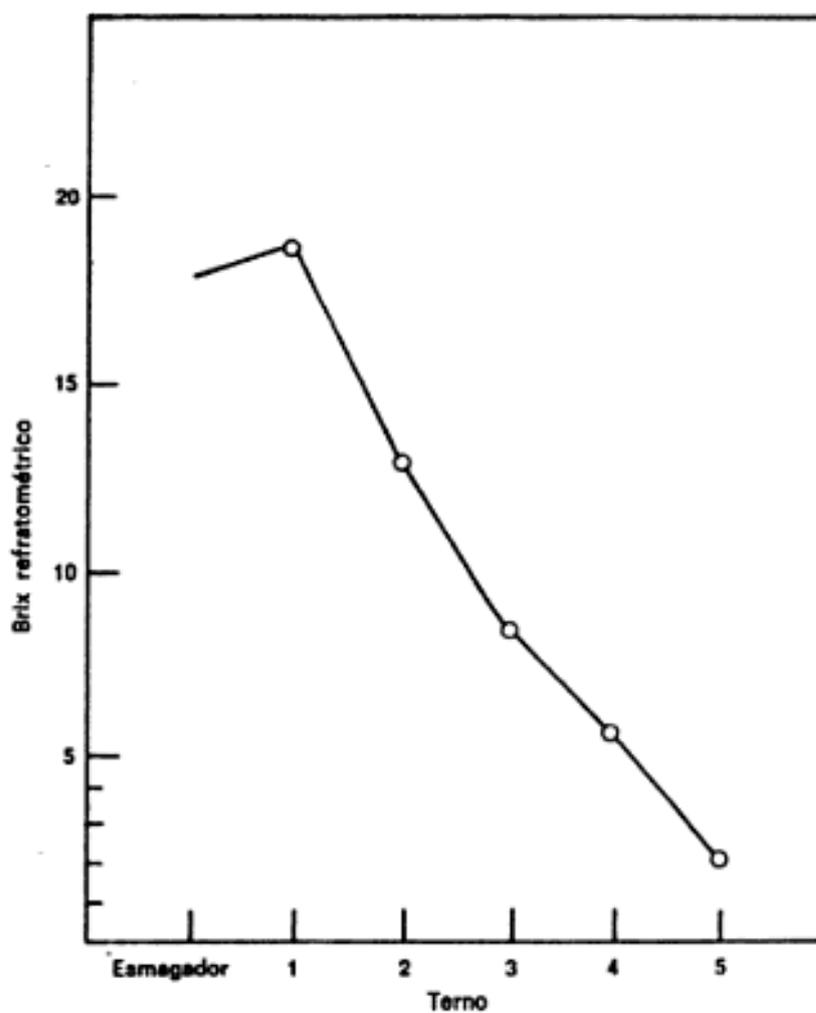
$$Z' = 1,90 * 44 = 83,6 \text{ mm};$$

$$T' = 0,80 * 44 = 35,2 \text{ mm}.$$

5.8 Curva de brix

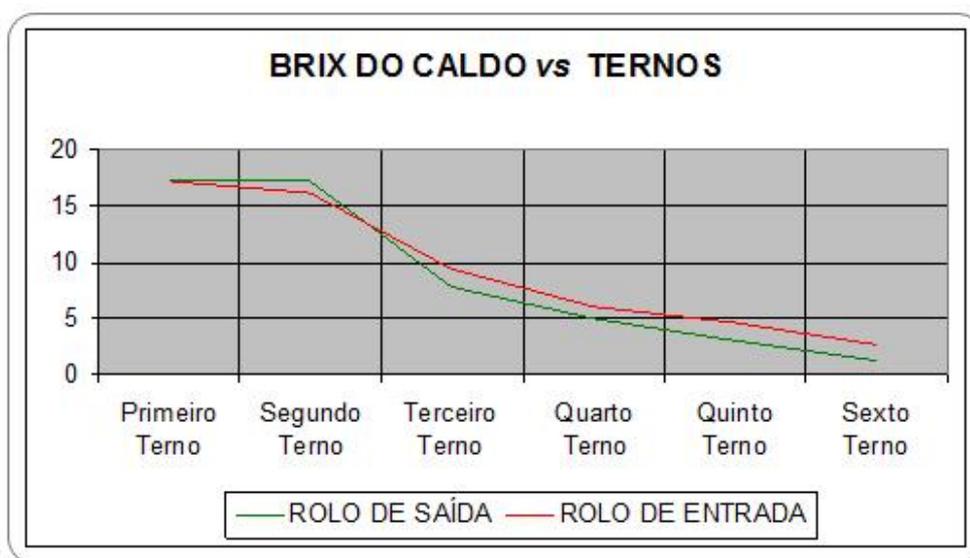
A curva de brix é um gráfico onde são plotados os valores dos brix dos caldos dos rolos de entrada, de saída e total de cada terno. Esses valores darão uma curva mostrando o desempenho individual de cada terno. Os gráficos 4 e 5 representam a curva de brix.

Gráfico 4 – Curva de Brix do caldo total



Fonte: Payne (1989)

Gráfico 5 – Curva de Brix dos rolos



Fonte: <http://www.smar.com/newsletter/marketing/index43.html>

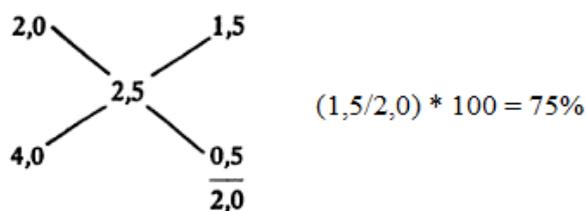
Os valores individuais na curva indicam a performance total até aquele ponto. Um desvio de uma curva uniforme é uma evidência de má performance naquela área. Habitualmente, o desvio torna a curva mais horizontal e significa que o terno anterior é o responsável – seja pela performance total do mesmo, seja pela extração baixa no rolo de entrada –, permitindo caldo com menor brix no rolo de saída. Poderia ser causado também em casos mais raros por uma extração muito alta do rolo de entrada no terno seguinte.

Uma falha, fazendo a curva mais vertical, é algumas vezes encontrada. Isto pode ser causado pelo mau funcionamento do terno anterior àquele onde a falha ocorre, seja na extração total, ou na extração baixa no rolo de entrada, deixando brix baixo no caldo do rolo de saída. Mas poderia ser também o resultado de baixa extração do rolo de entrada do terno seguinte à queda. (PAYNE, 1989, p. 57).

O autor também determina que a extração relativa dos rolos de entrada e de saída pode ser calculada pelos dados da curva de brix, por exemplo:

- Rolo de entrada 2,0 graus brix;
- Rolo de saída 4,0 graus brix;
- Caldo Total 2,5 graus brix.

Calculando pelo método do retângulo:



Ou seja, 75% do caldo foi extraído pelo rolo de entrada e 25% pelo rolo de saída. Esses valores evidenciam um bom desempenho na extração.

5.9 Automação

Outra forma de controlar os parâmetros de moagem é a implementação da automação no setor. Assim torna a operação menos manual e mais automatizada, diminuindo o índice de falhas operacionais e aumentando a confiabilidade da operação e a padronização dos parâmetros. Há vários controles listados por Ribeiro (2003), abaixo segue alguns exemplos:

Automatização da alimentação de cana:

Consiste em medir e controlar o nível de cana no chute donnelly do primeiro terno da moenda, atuando na velocidade da esteira de borracha. A velocidade da esteira metálica é sincronizada com a velocidade da esteira de borracha, controlando assim as esteiras de alimentação de cana para a moenda. Também é feita a proteção das turbinas dos picadores e desfibradores, para evitar embuchamento nesses equipamentos, para isto é necessário a medição de rotação das turbinas. A proteção atua na velocidade da esteira metálica até que a turbina recupere a sua velocidade normal de trabalho. O nível do colchão de cana da esteira também pode ser medido e entrar no controle, atuando na velocidade das esteiras caso o nível do colchão de cana diminua. (RIBEIRO, 2003, p.42).

Sincronismo da mesa alimentadora:

Este controle consiste em medir a potência do motor da esteira metálica de cana e manter uma carga de cana determinada na esteira metálica. A velocidade da mesa alimentadora é controlada pela potência do motor da esteira e também pelo sincronismo com a velocidade das esteiras de cana. (RIBEIRO, 2003, p.42).

Controle de velocidade das turbinas das moendas:

Este controle consiste em medir e controlar o nível de cana desfibrada no chute donnelly do segundo ao último terno da moenda, atuando na

velocidade da turbina de acionamento do respectivo terno. (RIBEIRO, 2003, p.42).

Controle de vazão de água de embebição:

Este controle consiste em medir e controlar a vazão de água de embebição. Este controle pode ter um *set-point* local para manter uma vazão fixa ou ter um *set-point* remoto, através da rotação da turbina do primeiro terno ou da vazão de caldo misto. (RIBEIRO, 2003, p.42).

Painel inteligente para turbina a vapor, conforme figura 80:

Trata-se de um painel inteligente para controle da turbina a vapor, contendo um Controlador Lógico para segurança, trip da turbina, medição de pressões de vapor primário, vapor de escape, óleo de lubrificação e óleo de regulação da turbina, medições de temperatura dos mancais da turbina e redutores, medição da velocidade da turbina e comandos das bombas de lubrificação. Todos os comandos são feitos através de uma IHM local no painel ou através do sistema de supervisão. (RIBEIRO, 2003, p.42).

Figura 80 - Painel Inteligente de Turbina dos ternos da Moenda



Fonte: A Usina de Açúcar e sua Automação (2003)

5.10 Paradas, Reduções e Embuchamentos

As paradas que ocorrem na extração do caldo causam prejuízos quanto à quantidade de cana moída, porém podem ser úteis para manutenções e verificações dos pontos críticos, mas, além das paradas devido à moenda em si, as dos outros setores também interferem na moagem, por exemplo, caso ocorra um desarme na caldeira haverá parada na moenda por falta de vapor, entre outros. Assim reduzindo cada vez mais a quantidade moída.

As chamadas reduções são quando algum fator não está operando de acordo com o previsto, porém não chega a causar a parada da moenda, por exemplo, quando processo de tratamento de caldo está com alguma anomalia necessita-se diminuir o volume caldo recebido pela moenda, conseqüentemente deve-se reduzir a rotação das turbinas a vapor da moenda para atender a demanda do setor de tratamento de caldo. É comum em casos de reduções diminuir primeiro o volume de água de embebição, assim o volume de cana moída não é alterado, permanecendo com a moagem pré-estipulada.

Quanto aos embuchamentos são causados quando a quantidade de cana ultrapassa a capacidade da esteira, espaçamento entre esteira e eletroímã, entre os rolos da moenda, etc. Para eliminá-los é necessário que haja a parada da moenda e então retirar a cana de modo a garantir o retorno da moagem sem anomalias.

CONCLUSÃO

Por meio dos dados descritos no trabalho de conclusão de curso pode observar que o início para o processo produtivo sucroalcooleiro é a determinação da TCH (tonelada de cana por hora), isso se deve ao fato de que através desse valor pode-se dimensionar os equipamentos necessários e estimar a produção de produtos industriais bem como a quantidade de matéria-prima a colher.

Para que haja um bom fluxo de matéria-prima na moagem, oscilando pouco em relação à TCH, é necessário que o chute donnelly esteja operando com quantidade constante entre 75 a 85%. Para isso deve-se manter um fluxo constante das cargas de cana e das alimentações das mesas das moendas. Assim evitando desequilíbrio no fornecimento de cana, bagaço e caldo.

Possível concluir também que para se obter uma boa extração deve-se priorizar o índice de preparo da cana, o *OpenCell*, onde deve-se manter esse índice acima de 85% das células da cana abertas. Para atingir tal valor um bom funcionamento das facas e dos martelos é indispensável.

Outra variável que interfere no valor da extração é a qualidade dos rolos da moenda, pois com frisos e picotes desgastados e sem chapisco não garantem um esmagamento eficaz, deixando de extrair pol da cana e aumentando a perda no bagaço.

A regulagem dos espaçamentos entre os rolos, pentes e bagaceiras deve ser monitorada constantemente e sempre reajustada em paradas periódicas para garantir uma porcentagem de extração ideal.

Outro fator importante para o processo de moagem é a pressão hidráulica, porque garante a compressão do rolo superior sobre a camada de cana, portanto necessita de pressão ideal e constante durante toda a safra.

Para uma boa extração deve-se também manter uma taxa de embebição de água constante de 250 % em relação à quantidade de fibra contida na cana, assim permitindo que maior quantidade de pol seja retirada da cana e a umidade do bagaço tenderá a não se elevar.

Com o trabalho pude compreender melhor o processo sucroalcooleiro e as variáveis agroindustriais que ocorrem durante toda a moagem. Bem como as necessidades do setor de extração quanto aos aspectos da cana e das condições mecânicas. Possível compreender também as obrigações da extração para a entrega de bagaço para a caldeira (bagaço com

umidade de até 50%) e para a entrega do caldo ao setor de tratamento de caldo (caldo sem muita água).

Além TCH, *OpenCell*, chute donnelly, chapisco, regulagem, pressão e embebição há outros fatores que afetam a moagem como a qualidade da matéria-prima, a qualidade e quantidade da mão-de-obra e o nível de automação da empresa. Contudo é possível concluir que o processo de extração de caldo da cana é composto por diversas variáveis que possuem características particulares no controle de moagem e extração e que os domínios dessas variáveis garantirão ao término da safra um valor agradável à empresa.

REFERÊNCIAS

ACOPLAMENTO flexível, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.simisa.com.br/home/produtos.php?id=83>>. Acesso em: 13 outubro 2013.

ADÃO, Florindo Mateus. **A influência do chapisco no resultado da extração**. 2011.

ALCARDE, André Ricardo. **Processamento da cana-de-açúcar**, [s.d.]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html>. Acesso em: 06 maio 2013.

AMÉRICO, Ivail. **Castelo e mancais**, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABeHEAD/castelo-mancais>>. Acesso em: 19 julho 2013.

AZEVEDO engenharia mecânica – LTDA, [s.d.]. **Cálculo das perdas no bagaço**. Piracicaba.

BAGACEIRA com metalização, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.faguavermelha.ind.br/produto/bagaceira-com-metalizacao.html>>. Acesso em: 30 setembro 2013.

BRUNELLI, Sidnei. **“Um setor maduro”**, Revista Opiniões sobre o setor Sucroenergético, n. 27, p 30, jan-mar.2011.

CAMISA para moenda, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.solostocks.com.br/venda-produtos/outra-maquinarial/camisa-para-moenda-614548>>. Acesso em: 02 agosto 2013.

CASTELO da moenda 84" da Moreno, [s.d.]. Disponível em: <<http://negociol.com/p220798-castelo-moenda-moreno.html>>. Acesso em: 07 julho 2013.

CASTRO, Sebastião Beltrão de; ANDRADE, Samara Alvachian C. **Engenharia e tecnologia açucareira**. 2006. 51 f. Departamento de Engenharia Química. Centro de Tecnologia e Geociências - Escola de Engenharia de Pernambuco, Recife.

CINTAS da Tecnotextil consolidam inovação no setor sucroalcooleiro, 2012. Disponível em: <<http://www.tecnotextil.com.br/cintas-da-tecnotextil-consolidam-inovacao-setor-sucroalcooleiro/>>. Acesso em: 11 outubro 2013.

COSTA, José Augusto Brunoro; PONCIANO, Niraldo José; SOUZA, Paulo Marcelo. **Avaliação da sistemática de cálculos para efeito de pagamento de cana pelos açúcares totais recuperáveis (ATR) nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo.** 2008. 19 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

CTC – Centro De Tecnologia Copersucar. **Curso de operação de moendas.** Seção de Tecnologia de Moagem. 1999.

DESCARREGADOR lateral tipo hylo/suspensão, [s.d.]. Disponível em: <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-descarregador-lateral2.php>. Acesso em: 05 maio 2013.

DEFIBRADOR convencional, [s.d.]. Disponível em: <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-defibradores2.php>. Acesso em: 29 junho 2013.

DEFIBRADOR de cana, 2010. Disponível em: <<http://www.romasul.com.br/produto/defibrador-de-cana.html>>. Acesso em: 29 junho 2013.

DINAMO automação industrial, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.dinamoautomacao.com.br/animacao.swf>>. Acesso em: 21 setembro 2013.

EIXOS de moenda - moenda/extração, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.faguavermelha.ind.br/produto/eixos-de-moenda.html>>. Acesso em: 27 julho 2013.

ELETROÍMÃ, [s.d.]. Disponível em: <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-eletoima2.php>. Acesso em: 05 julho 2013.

EQUIPAMENTOS açúcar e álcool, 2008. Disponível em: <<http://www.mazzer.com.br/ci.php?/home>>. Acesso em: 15 agosto 2013.

ESTEIRA de arraste entre moendas, [s.d.]. Disponível em: <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_extracao/aa-area-atuacao-extracao-esteira2.php>. Acesso em: 02 outubro 2013.

ESTEIRA transportadora de cana, [s.d.]. Disponível em: <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-moagem-esteira-transportadora2.php>. Acesso em: 18 maio 2013.

GAMELÃO, 2010. Disponível em: <<http://www.centurydobrasil.com.br/aplicacoes/gamelao.html>>. Acesso em: 02 outubro 2013.

GARRAFAS hidráulicas, [s.d.]. Disponível em: <http://www.rgsertal.com.br/catalogo/cat_2.pdf>. Acesso em: 30 setembro 2013.

HUGOT, Emile. **Manual da engenharia açucareira**. Tradução de Irmtrud Miocque. São Paulo: Mestre Jou, 1969.

JALLES Machado – bases de moenda, 2013. Disponível em: <<http://www.conenge.com/eficiente/sites/obrasindustriais/pt-br/site.php?secao=obrasindustriais&pub=57>>. Acesso em: 07 julho 2013.

LIMA, Aldemi Coelho; FERRARESI, Valtair Antonio. **Análise da resistência ao desgaste de revestimento duro aplicado por soldagem em facas picadoras de cana-de-açúcar**, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242010000200003>. Acesso em: 27 maio 2013.

MANCAL superior – moenda, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.faguavermelha.ind.br/produto/mancal-superior-161423.html>>. Acesso em: 14 agosto 2013.

MANELLA, José Nazareno Anzanello. **Glossário de termos técnicos usados na indústria açucareira e alcooleira**. Maracaí: Markgraf, 2012.

MOENDA, [s.d.]. Disponível em: <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_extracao/aa-area-atuacao-extracao-moenda2.php>. Acesso em: 07 julho 2013.

PAES, Luiz Antonio Dias. **Impurezas e qualidade de cana-de-açúcar**. 2011. CTC – Centro de Tecnologia Canavieira.

PAYNE, John Howard. **Operações unitárias na produção de açúcar da cana**. Tradução de Florenal Zarpelon. São Paulo: Nobel, 1989.

POLIDORO, André; SERRA, Alexandre. **Revestimento duro em faces de flanges de moenda**, 2011. Disponível em: http://www.bohlersoldabrasil.com.br/setembro_2011/artigo2.html. Acesso em: 30 abril 2013.

PREPARO de cana, [s.d.]. Disponível em: <http://djfabianos.wix.com/sertemaq#!preparo-de-cana>. Acesso em: 29 junho 2013.

PROCESSO industrial no setor sucroalcooleiro, [s.d.]. Disponível em: <http://pimartins.weebly.com/extraccedilatildeo.html>. Acesso em: 22 julho 2013.

PROCESSO industrial no setor sucroálcooleiro, [s.d.]. Disponível em: <http://pimartins.weebly.com/recepccedilatildeo-e-preparo.html>. Acesso em: 30 abril 2013.

PRODUÇÃO agrícola, [s.d.]. Disponível em: http://www.usinasaofernando.com.br/conteudo_site.asp?tipoID=3. Acesso em: 05 maio 2013.

PRODUTOS, [s.d.]. Disponível em: <http://www.magister.ind.br/produtos>. Acesso em: 29 junho 2013.

PRODUTOS, [s.d.]. Disponível em: <http://www.simisa.com.br/home/produtos.php>. Acesso em: 09 setembro 2013.

PRODUTOS, [s.d.]. Disponível em: <http://www.faguavermelha.ind.br/produto/pentes-diversos-com-ou-sem-metalizacao.html>. Acesso em: 30 setembro 2013.

PRODUTOS e serviços, [s.d.]. Disponível em: <http://www.dnindustrial.com.br/produtoseservicos.html>. Acesso em: 18 maio 2013.

PRODUTOS & serviços, 2011. Disponível em: <http://metalurgicaperola.ind.br/>. Acesso em: 07 setembro 2013.

QUAL é a importância da lavagem da cana?, 2006. Disponível em: http://www.mezochi.net/Qual_import_lavagem.htm. Acesso em: 29 abril 2013.

QUEIROZ-VOLTAN, Rachel Benetti; PRADO, Hélio do; MORETTI, Fernando Cesar. **Aspectos estruturais de raízes de cana-de-açúcar sob o efeito da compactação do solo**,

1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87051998000100007&script=sci_arttext>. Acesso em: 30 abril 2013.

RECUPERAÇÃO de rodetes, [s.d.]. Disponível em: <http://www.djsequipamentosindustriais.com.br/servicos_recuperacao_rodetes.html>. Acesso em: 23 outubro 2013.

REDUTOR, 2013. Disponível em: <<http://communities.autodesk.com/brazil/category/keywords/redutor-de-velocidade>>. Acesso em: 10 outubro 2013.

REFORMA em redutores, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.transmiservice.com.br/#noticias>>. Acesso em: 10 outubro 2013.

RESTAURAÇÃO de camisas e criação de picotes, 2013. Disponível em: <<http://www.mbservicoosemanutencoes.com/2013/01/restauracao-de-camisas-e-criacao-de.html>>. Acesso em: 02 agosto 2013.

RIBEIRO, Paulo Roberto. **A usina de açúcar e sua automação**. 2003. Smar Equipamentos Industriais Ltda.

ROSSETTO, Raffaella. **Descarregamento**, [s.d.]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_101_22122006154841.html>. Acesso em: 15 maio 2013.

UNIDADE I - Fabricação de Açúcar: Preparação e Extração, 2003. Disponível em: <<http://www.fatecc.com.br/ead-moodle/tecnicoacucarealcool/tecnologiaacucarealcool2.pdf> >. Acesso em: 29 abril 2013.

SERRA, Alexandre; POLIDORO, André. **Pente Convencional ou de Chapa: Como aumentar a vida útil**, 2011. Disponível em: <<http://www.simisa.com.br/home/produtos.php?id=83>>. Acesso em: 22 outubro 2013.

SERRA, Alexandre; POLIDORO, André. **Vantagens da aplicação de chapisco com arame tubular em camisas de moenda**, 2011. Disponível em: <http://www.bohlersoldabrasil.com.br/novembro_2011//artigo_1.html>. Acesso em: 29 outubro 2013.

SILVA, Marcus Vinicius C. de Melo e; RIBEIRO, Marcus Vinicius. **Transmissor de Posição SMAR na Moenda**, 2010. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index43.html>>. Acesso em: 02 outubro 2013.

STECKELBERG, Ricardo. **Aspectos operacionais, regulagem e extração da moenda**, [s.d.]. Jalles Machado S/A. Goianésia.

TURBINAS, [s.d.]. Disponível em: <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_extracao/aa-area-atuacao-extracao-esteira2.php>. Acesso em: 10 outubro 2013.

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. 2012. 191 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.