

**UniRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO PARA TRIANGULAÇÃO E
REGULAGEM DE MOENDAS**

THIAGO CORDEIRO RIBEIRO

Orientador: Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica da
UniRV – Universidade de Rio Verde como
parte das exigências para obtenção do título
de Bacharel.**

RIO VERDE - GOIÁS

2015

**UniRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO PARA TRIANGULAÇÃO E
REGULAGEM DE MOENDAS**

THIAGO CORDEIRO RIBEIRO

Orientador: Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica da
UniRV – Universidade de Rio Verde como
parte das exigências para obtenção do título
de Bacharel.**

RIO VERDE - GOIÁS

2015

UniRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO PARA TRIANGULAÇÃO E
REGULAGEM DE MOENDAS**

THIAGO CORDEIRO RIBEIRO

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do grau de BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA e aprovada em sua forma final.

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Anderson Inácio Junqueira Júnior

Prof. Me. Weliton Eduardo Lima de Araújo

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira
Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

RIO VERDE - GO

2015

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso a minha família, que sempre apoiou e me incentivou a concluir a faculdade de Engenharia Mecânica, ao meu orientador e aos meus professores que possibilitaram, através de conhecimentos e ensinamentos, a obtenção do título de engenheiro mecânico. Também ofereço aos meus colegas de trabalho, que permitiram o meu acesso a todo o conhecimento necessário para elaboração deste, e por fim aos meus colegas de curso. Obrigado por tudo!

RESUMO

RIBEIRO, Thiago Cordeiro. **Cálculos de dimensionamento para triangulação e regulagem de moendas.** 2015. 62f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - UniRv - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015¹.

Este projeto tem objetivo mostrar os conceitos relacionados aos cálculos de regulagem de moendas, além das equações matemáticas desenvolvidas para este fim. Para isto, é mostrada a função e configuração dos equipamentos usados para processamento de cana de açúcar em moendas, desde a parte de recepção, preparo e moagem da mesma, e também explanações sobre a obtenção das equações usadas nos cálculos de capacidade volumétrica, fator de reabsorção, velocidades periféricas dos rolos, ângulo máximo de alimentação das calhas Donnelly entre outros. Na segunda etapa é mostrada a aplicação das fórmulas encontradas inicialmente para definir as aberturas entre rolos, locais onde ocorre a maior compressão da cana, sendo estas o ponto de partida para obtenção das medidas da triangulação em si. Após a conclusão destes procedimentos, será dado um foco especial aos cálculos de obtenção da posição da bagaceira, equipamento intimamente ligado à eficiência da extração do caldo da cana.

PALAVRAS-CHAVE

Reabsorção, Extração de Caldo, Rolos, Bagaceira, Castelos.

¹ Orientador: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira; Examinadores: Prof. Anderson Inácio Junqueira Júnior e Prof. Me. Weliton Eduardo Lima de Araújo - UniRV.

ABSTRACT

RIBEIRO, Thiago Cordeiro. Sizing calculations for triangulation and mills regulation. 2015. 62f. Completion of course work (Graduation in Mechanical Engineering) - UniRv - University of Rio Verde, Rio Verde, 2015².

This project is intended to show the concepts related to the mills of adjustment calculations, in addition to mathematical equations developed for this purpose. For this, it is shown the function and configuration of the equipment used for sugar cane processing mills, from the part of reception, preparation and milling of it, and also explanations of obtaining the equations used in the calculation of volumetric capacity factor resorption peripheral speeds of the rollers, the maximum angle Donnelly feed chutes and others. In the second step shows the application of the formulas found initially to set the gaps between rollers, where the greatest local compression of sugarcane, these being the starting point for obtaining the triangulation measurements themselves. Upon completion of these procedures, was given special focus to the calculations for obtaining the position of marc, equipment closely linked to the efficiency of extraction of sugarcane juice.

KEYWORDS

Resorption, Broth extraction, Rollers, Marc, Castles.

² Advisor: Prof. Dr. Warley Augusto Pereira; Examinadores: Prof. Anderson Inácio Junqueira Júnior e Prof. Me. Weliton Eduardo Lima de Araújo - UniRV.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Balança de caminhões de cana.	11
FIGURA 2 – Sistema de guincho hilo com mesa alimentadora	12
FIGURA 3 – Mesa alimentadora com inclinação de 45 graus	12
FIGURA 4 – Visão geral do preparo e esteira metálica	14
FIGURA 5 – Picador com jogos de facas reforçadas com solda dura	14
FIGURA 6 – Comportamento da cana no desfibrador	15
FIGURA 7 – Conjunto do desfibrador e exemplo de desgaste das facas e martelos	16
FIGURA 8 – Desenho da esteira de cana desfibrada e eletroímã	17
FIGURA 9 – 1º e 2º terno com calha Donnelly e esteira intermediária	18
FIGURA 10 – Etapas da extração de caldo no terno	19
FIGURA 11 – Desenho de eixo com camisa ajustada	20
FIGURA 12 – Aplicação de solda chapisco e picote na camisa	20
FIGURA 13 – Detalhe para usinagem dos frisos	22
FIGURA 14 – Castelos e cabeçotes laterais da moenda	23
FIGURA 15 – Bagaceira com perfil e ajuste no rolo	24
FIGURA 16 – Detalhe para montagem dos pentes	24
FIGURA 17 – Detalhe para montagem dos Flanges	25
FIGURA 18 – Esquema para cálculo do ângulo de alimentação máxima	26
FIGURA 19 – Diagrama do ângulo de alimentação máxima	27
FIGURA 20 – Gráfico de relação entre $\alpha_{\text{máx.}}$ e Q	29
FIGURA 21 – Posição de montagem das chapas da calha Donnelly	31
FIGURA 22 – Volume de bagaço descrito pelo perímetro dos rolos	33
FIGURA 23 – Zona de alta pressão entre os rolos (Fator de Reabsorção)	35
FIGURA 24 – Gráfico da relação entre índice de fibra e a reabsorção	36
FIGURA 25 – Gráfico da relação entre índice de fibra e a teor de fibra do bagaço	37
FIGURA 26 – Balanço de fibra no terno de moenda	39
FIGURA 27 – Diâmetros dos rolos de moenda	42
FIGURA 28 – Triangulação do terno com flange e bagaceira	43
FIGURA 29 – Traçado da bagaceira	44
FIGURA 30 – Detalhes para cálculo do Bx e By	46

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Relação de abertura entre entrada e saída em trabalho	40
QUADRO 2 – Relação de abertura entre pressão e saída em trabalho	41
QUADRO 3 – Valores dimensionais dos rolos e frisos da moenda	49
QUADRO 4 – Diâmetro primitivo dos rolos superiores e de saída	49
QUADRO 5 – Diâmetro médio entre os rolos superiores e de saída	49
QUADRO 6 – Velocidade periférica media dos rolos superiores e de saída	50
QUADRO 7 – Distância entre centros dos rolos superiores e de saída	53
QUADRO 8 – Diâmetro primitivo dos rolos de entrada e de pressão	53
QUADRO 9 – Diâmetro médio entre os rolos superior e de entrada	53
QUADRO 10 – Distância entre centros dos rolos superiores e entrada	54
QUADRO 11 – Diâmetro médio entre os rolos superior e de pressão	54
QUADRO 12 – Distância entre centros dos rolos superiores e de pressão	54
QUADRO 13 – Distância entre centros dos rolos de entrada e de pressão	55
QUADRO 14 – Medida AB1 para ajuste da bagaceira	55
QUADRO 15 – Valores para (Re') dos seis ternos	56
QUADRO 16 – Valores para (Bx) dos seis ternos	56
QUADRO 17 – Medida AB2 para ajuste da bagaceira	57
QUADRO 18 – Valores para (Rs') dos seis ternos	57
QUADRO 19 – Valores para (By) dos seis ternos	57
QUADRO 20 – Medida AB3 para ajuste da bagaceira	58
QUADRO 21 – Medida (a e b) para ajuste da calha Donnelly	58
QUADRO 22 – Medida C para ajuste da calha Donnelly	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	111
2.1 Recepção da cana	111
2.2 Preparo da cana	133
2.2.1 Esteira desfibrada e eletroímã	177
2.3 Componentes da moenda	188
2.3.1 Rolos de Moenda	199
2.3.2 Castelos e outros componentes	233
2.4 Triangulação e Regulagem de Moendas	255
2.4.1 Cálculo de alimentação e densidade na calha Donnelly	266
2.4.2 Fatores influentes no cálculo das aberturas	322
2.4.3 Cálculo das aberturas do terno	388
2.4.4 Cálculo de triangulação dos ternos	41
2.4.5 Cálculos de posicionamento da bagaceira	444
2.4.5.1 Medidas de regulagem da bagaceira	45
3 ESTUDO DE CASO	48
3.1 Definição dos diâmetros dos rolos	48
3.2 Definição das aberturas da moenda	50
3.2.1 Abertura de saída (S') em trabalho	50
3.2.2 Abertura de entrada (E') e pressão (P') em trabalho	51
3.2.3 Distância entre os centros dos rolos	52
3.3 Traçado da posição da bagaceira	55
3.4 Montagem da calha Donnelly	58
3.5 Verificação da densidade necessária	59
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5 REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana de açúcar foi implantada no Brasil no século XVI por Portugal, que nesta mesma época instalou os primeiros engenhos de açúcar e álcool, hoje em dia conhecido como setor de extração nas usinas modernas. Desde a época do império houve uma constante busca por novos equipamentos e conceitos que aumentassem a eficiência e produtividade da extração do caldo da cana. Desde os primórdios da indústria sucroalcooleira, a obtenção do caldo é feita por esmagamento da cana. Este processo permite a separação entre fibra e sacarose, sendo esta última a molécula que origina o açúcar e o etanol. O equipamento mais utilizado para este fim são as moendas, que são compostas basicamente por conjuntos de ternos, geralmente cinco ou seis, sendo que, cada terno possui quatro rolos. O nome terno refere-se a um conjunto de três objetos, as primeiras moendas possuíam somente três rolos.

O processo de esmagamento sozinho não possui alta eficiência, então para a obtenção máxima de sacarose, houve a necessidade de preparar a cana antes de a mesma ser moída. Para isto foi desenvolvido um conjunto de equipamentos que pode reduzir a cana picada ou inteira em fibras menores, este processo aumentou significativamente os valores de extração do caldo. Atualmente esse conjunto recebe o nome de preparo e é constituído, nas usinas modernas, por picador de cana, tambor nivelador, desfibrador, espalhador e esteira metálica.

Referente à chegada da cana até o preparo, pode-se dizer que ela passa por balanças na entrada das usinas para o registro da medida da massa, em seguida é descarregada, dos vagões dos caminhões, por guinchos até mesas e esteiras. Além dos processos e equipamentos já citados, existem também vários equipamentos que complementam a moagem da cana de açúcar, podendo-se citar bombas, esteiras intermediárias, bagaceiras, flanges, entre outros.

Como a eficiência da moagem depende de um ajuste delicado do arranjo físico do equipamento, é necessário realizar um projeto de dimensionamento detalhado de cada terno de moenda para cada safra de operação.

Este trabalho tem como objetivo, demonstrar os cálculos necessários para a regulagem e triangulação dos ternos de moenda, posicionamento da calha Donnelly e traçado da bagaceira, pois, para garantir o funcionamento correto deste conjunto de equipamentos é necessário prever as posições, dimensões e aberturas por onde a cana irá passar como também as possíveis interferências entre os próprios componentes da moenda.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Recepção da cana

A cana de açúcar na maioria das usinas chega na forma de toletes, em caminhões que carregam até três vagões. Um dos motivos de colher e já picar a cana foi para aumentar a densidade dessa cana dentro dos vagões. Como o vagão possui um volume fixo e a cana inteira não preenche o máximo de espaços possíveis à densidade tende a cair com cana inteira. Quando o picamento é realizado, os toletes ocupam estes mesmos espaços de forma mais uniforme, ou seja, a relação entre massa e volume aumenta. Para Hugot (1977) a cana picada possui uma média de densidade de 350 Kg/m^3 , para a inteira este número cai para 200 Kg/m^3 . Esta densidade se mantém mesmo depois do descarregamento em mesas e esteiras.

A fim de contabilizar a moagem diária e também pagar os fornecedores de cana, a usina possui balanças preparadas para pesar a cana dentro do próprio caminhão (Figura 1).



Fonte: <http://docs.google.com/> (2014).

FIGURA 1 – Balança de caminhões de cana.

A parte de recepção da cana é onde acontece o descarregamento da cana, ou seja, onde a cana é retirada dos vagões para iniciar a alimentação do sistema de preparo. É constituída fundamentalmente por dois tipos de equipamentos são eles:

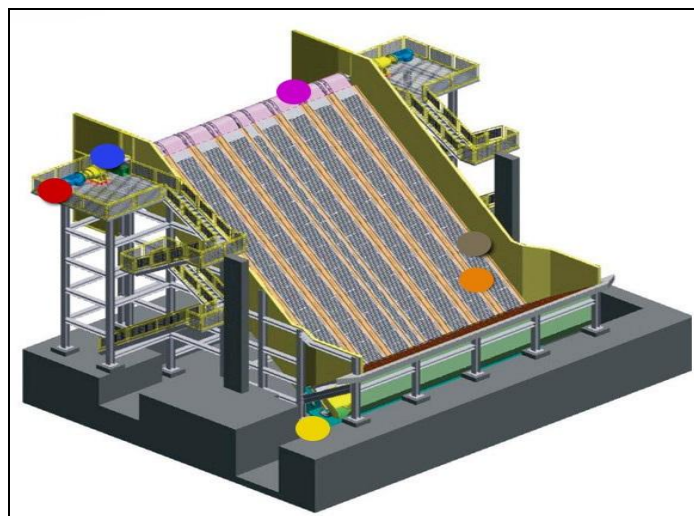
Guincho hilo: tem a função de levantar o vagão com cana e despejar nas mesas alimentadoras, de acordo com o Centro de Tecnologia Copersucar (1999) o mesmo é composto de uma estrutura tubular ou de perfis laminados, com altura variando entre 13 a 16 m, possui um motor com redutor que traciona os cabos de aço através de um sistema de polias, estes são presos nos vagões por correntes (Figura 2). Como os vagões são fixados em um eixo eles fazem um movimento circular, quando a inclinação chega de 30 a 50 graus a cana é despejada por gravidade. Sua capacidade pode chegar até 60 toneladas.



Fonte: <http://www.linksteel.com.br/> (2014).

FIGURA 2 – Sistema de guincho hilo com mesa alimentadora.

Mesas alimentadoras: recebem a cana dos vagões e a transporta para as esteiras metálicas, devido a sua inclinação formam colchões de cana uniformes e de altura relativamente baixa. As mesas podem variar sua inclinação de 20 a 50 graus e velocidade de operação de 8 m/min a 18 m/min. As capacidades de alimentação dependem da velocidade de operação, largura da mesa e altura do colchão de cana, e variam de 200 ton/h até 1100 ton/h, é constituída de uma estrutura metálica feita de vigas (perfil I ou H) recoberta com chapas de aço inox (. As mesas Figura 3) variam de 3 até 12 metros de largura e possuem de 4 até 10 linhas de correntes, com taliscas fixas para o arraste da cana, normalmente são acionadas por conjunto de inversor de frequência, motor e redutor (CTC, 1999).



Fonte: <http://www.promacbrasil.com.br/> (2014).

FIGURA 3 – Mesa alimentadora com inclinação de 45 graus.

2.2 Preparo da cana

O preparo, como é conhecido nas usinas sucroalcooleira, tem a função de transformar a cana em um material homogêneo com fibras longas e máxima abertura de células, também aumenta a densidade da cana e eficiência de embebição na moenda, este processo, no entanto deve ser feito sem extrair caldo neste estágio. Para medir a eficiência neste ponto é usado o índice de preparo (I.P.) que relaciona a pol (teor de sacarose) da cana dos vagões com a pol da cana desfibrada, produto final do preparo.

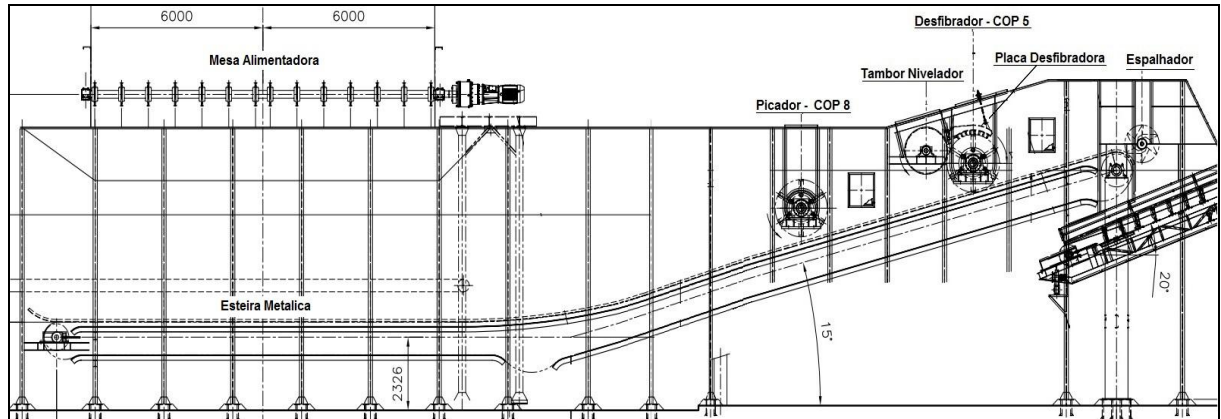
Segundo Hugot (1977, p. 89), “uma preparação medíocre leva a um I.P. de cerca de 75%. Uma preparação cuidadosa permite alcançar 85% e, em condições muito boas, 90%”.

É aconselhável, para moendas, este índice não ultrapassar a faixa de 90% pois, através de testes viu-se que, para índices de preparo de 82 a 90% tem-se comprimento de fibra entre 90 e 110 milímetros, tamanho ideal para as moendas. Mais a frente é mostrada como a eficiência de alimentação do terno de moenda está ligada diretamente com o tipo de fibra da cana que sai do preparo. Como citado antes, a densidade da cana picada que entra no preparo é de 350 Kg/m³, este número se eleva para valores em torno de 450 Kg/m³, após passar pelo processo de picamento e desfibramento (CTC, 1999).

Seguindo como referência as usinas de açúcar e etanol atuais, pode-se citar até seis equipamentos cruciais que fazem parte do preparo de cana, conforme descrito detalhadamente a seguir:

- **Esteira Metálica:** recebe a cana das mesas alimentadoras e a conduz durante todo o preparo da cana uma segunda esteira de borracha. É fechada nas laterais com chapas de aço carbono, sendo o fundo formado por taliscas chatas presas em correntes. Sua seção transversal tem formato retangular e a largura geralmente é igual à bitola da moenda. As correntes são apoiadas em vigas com trilhos de barra chata, o número de linhas varia de dois a quatro, dependendo da vazão de cana. As esteiras metálicas exercem um grande esforço nos pinos de junção das correntes, geralmente essas correntes suportam cargas de ruptura de tração de 38.500 a 60.000 Kgf, para evitar desgastes e rompimentos às esteiras tem comprimento máximo de 50 metros, para maiores distâncias são usados esteiras em série. Como as moendas atuais usam alimentação dos ternos por gravidade, a esteira metálica é montada na horizontal na parte das mesas alimentadoras e, já iniciando o preparo, sofre uma inclinação máxima de 18°, que juntamente com a esteira de borracha elevam a cana, a fim de acumular

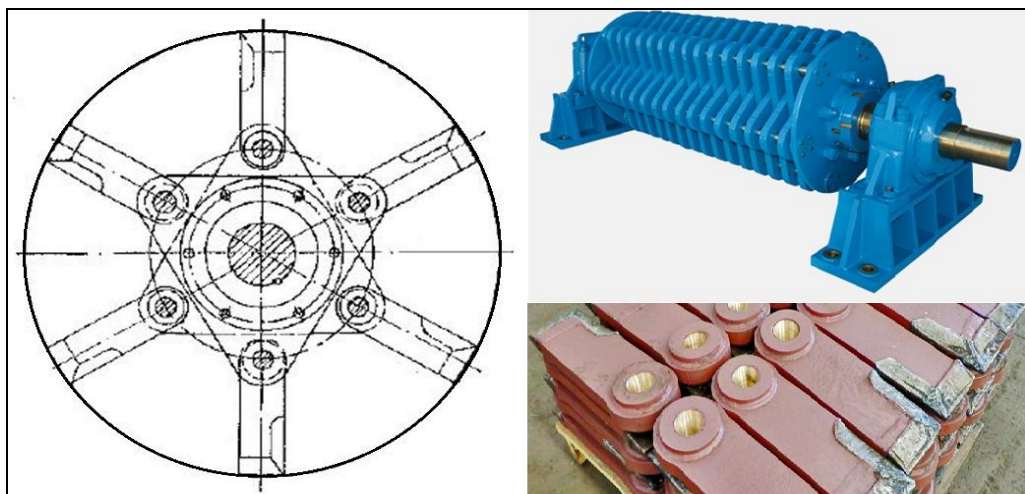
energia potencial gravitacional (CTC, 1999). A esteira metálica é representada na Figura 4.



Fonte: Projetos Copersucar (2007).

FIGURA 4 – Visão geral do preparo e esteira metálica.

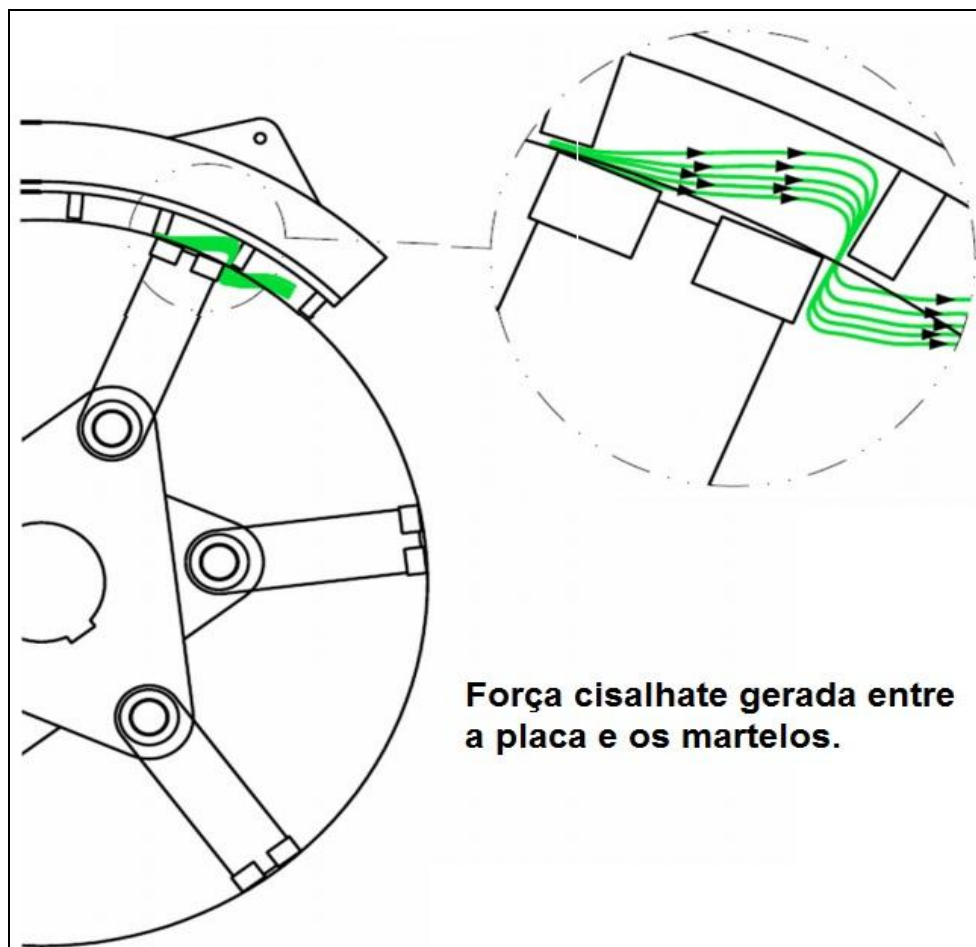
- Picador:** um dos modelos mais usados são os de facas ou lâminas presas a 6 eixos oscilantes que por sua vez são fixados num eixo principal de maior porte, todo o conjunto gira, acionados por motor, em rotações variadas (Figura 5). A empresa Copersucar desenvolveu as facas conhecidas como COP 8 que possui diâmetro de giro de 1.820 mm e rotação de trabalho de 630 rpm e o COP 9 que tem diâmetro de giro de 1.515 mm e rotação de 750 rpm. A função do picador é de cortar e romper a cana sobre a esteira metálica, o material de saída são fibras que variam de 200 a 300 mm, e o sentido de rotação é o mesmo do deslocamento da esteira metálica (CTC, 1999).



Fonte: <http://www.vemag.ind.br/> (2014).

FIGURA 5 – Picador com jogos de facas reforçadas com solda dura.

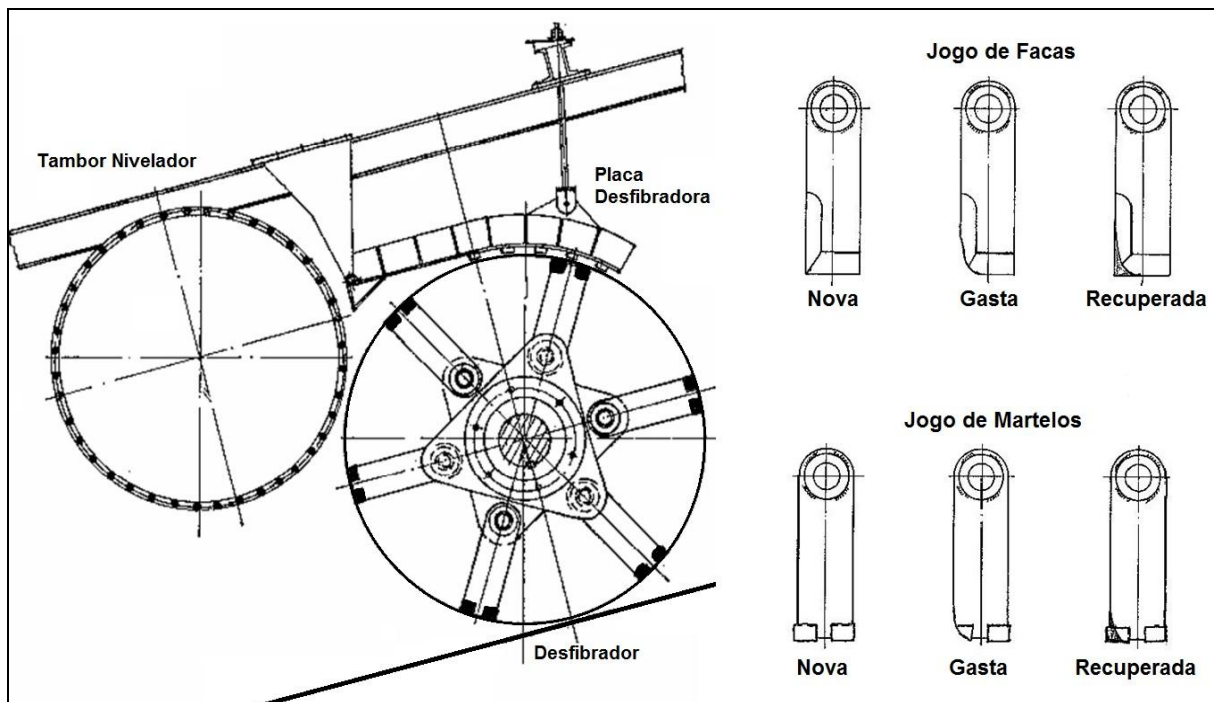
- **Tambor nivelador:** sua função é de nivelar o colchão de cana desordenado que sai do picador, e forçar a passagem da cana entre o desfibrador e placa desfibradora. É posicionado em frente ao desfibrador na altura da linha da placa, possui ranhuras em sua superfície para aumentar o atrito. O tambor nivelador é representado na Figura 4.
- **Placa desfibradora:** de acordo com Delfini (2013) este equipamento tem na parte interna barras retangulares soldadas em intervalos para gerar forças cisalhantes com os martelos do desfibrador (Figura 6), tem formato angular que acompanha o diâmetro de giro do mesmo. É ajustado por um parafuso tirante que movimenta a placa na vertical. Este trabalho é feito com o desfibrador ligado, o operador desce a placa assim que se escuta o contato com os martelos, o mesmo sobe a placa cerca de 5 a 15 mm. Este ajuste determina o índice de preparo e também o comprimento da fibra.



Fonte: DELFINI, Paulo; Revisão na Moenda (2013).

FIGURA 6 – Comportamento da cana no desfibrador.

- Desfibrador:** para o Centro de Tecnologia Copersucar (1999) este equipamento é essencial para o preparo da cana, é nele que se rompe a maior parte das células da cana, deixando a sacarose exposta. A construção do desfibrador é a mesma do picador, a única diferença é que ao invés de facas são usados martelos, que são semelhantes às facas, mas não possuem gumes de corte e sim um formato retangular nas pontas, com o intuito de gerar o máximo de força cisalhante possível (Figura 7). Tanto as facas como os martelos têm que ser virados ou trocados na faixa de 400.000 a 500.000 toneladas de cana processada. A Copersucar também desenvolveu martelos com o nome de COP 5 que gira a 630 rpm com diâmetro de giro de 1832 mm, e o COP 6 que gira a 750 rpm e tem diâmetro de giro de 1525 mm, os projetados para a velocidade de 60 m/s.



Fonte: <http://pimartins.weebly.com/recepcedilatildeo-e-preparo.html> (2014).

FIGURA 7 – Conjunto do desfibrador e exemplo de desgaste das facas e martelos.

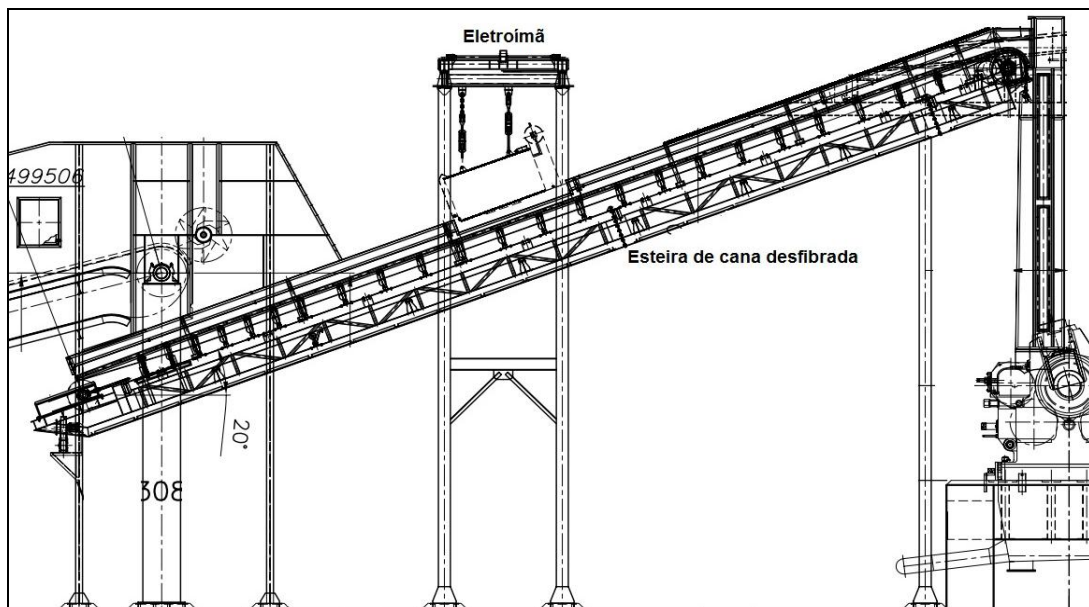
- Espalhador:** sua função é a de descompactar os montes de cana desfibrada que provêm do desfibrador. Este processo é usado para que os pacotes de cana consigam passar entre a esteira de borracha e o eletroímã sem causar interrupções. O espalhador é representado na Figura 4.

2.2.1 Esteira desfibrada e eletroímã

Dois equipamentos de suma importância que seguem o preparo são a esteira de cana desfibrada, mais conhecida com transportadores de correia, e o eletroímã.

A esteira de borracha ou desfibrada (Figura 8) é feita de uma estrutura de vigas, cantoneira e barras chatas, de modo a suportar roletes de carga na parte superior e roletes de retorno na parte inferior, por onde percorre uma lona de borracha fixada nas extremidades por dois tambores emborrachados, o conjunto todo é tracionado por motor e redutor.

Sua função é receber a cana que sai do preparo e transporta-la até a Donnelly do 1º terno, passando por debaixo de um eletroímã. Não se recomenda que sua inclinação ultrapasse os 23°, pois acima disto, a cana tende a deslizar sobre a esteira devido a sua umidade causando retornos (MORENO, 2014).



Fonte: Projetos Copersucar (2007).

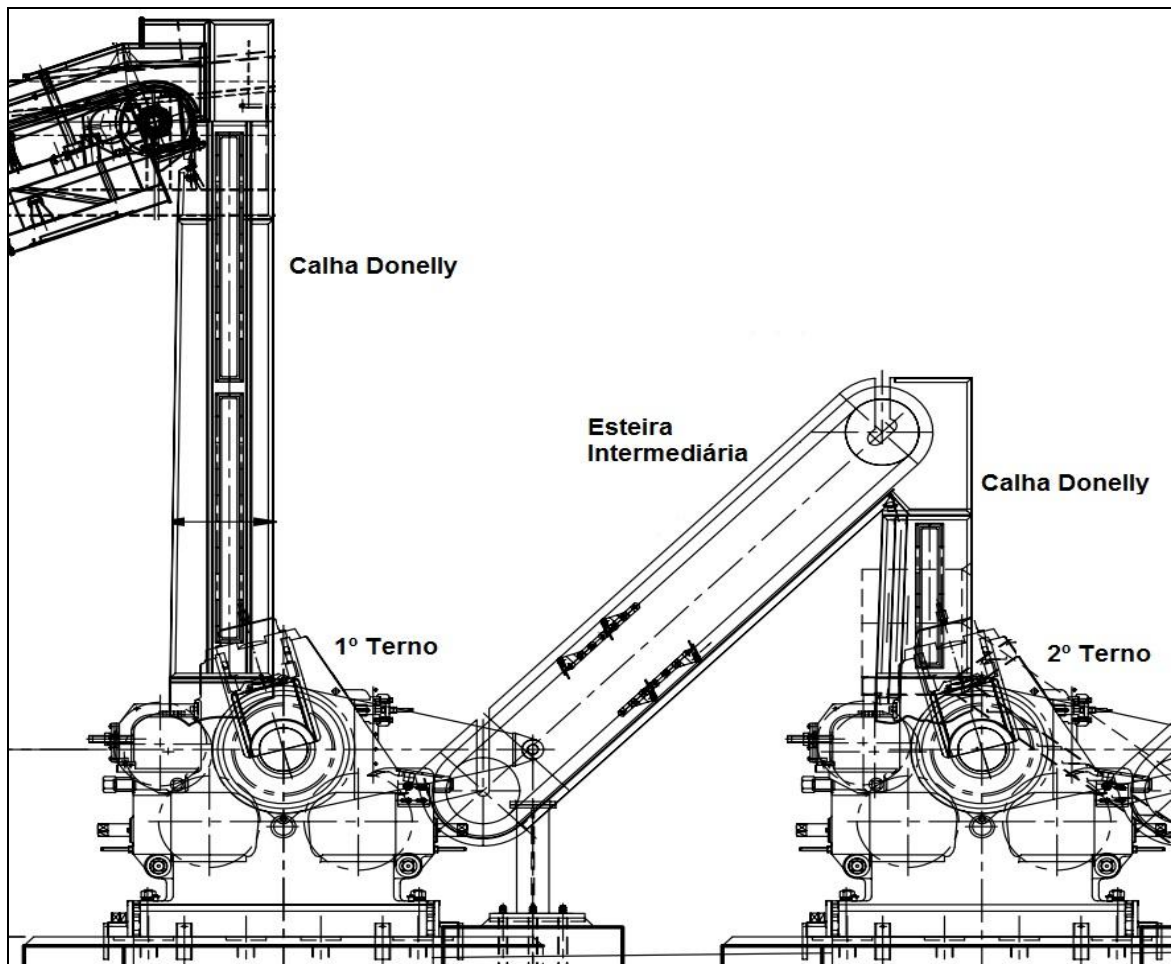
FIGURA 8 – Desenho da esteira de cana desfibrada e eletroímã.

O eletroímã (Figura 8) é instalado sobre a esteira desfibrada e sua função é a de retirar os metais, provindos da colheita da cana e também do próprio preparo. Este é essencial, pois pedaços metálicos na moenda causam quebras de rolos. Geralmente estes equipamentos têm campo de ação de 300 a 400 mm e intensidade de campo magnético na faixa de 600 a 800 Gauss (BETAMAG, 2014).

2.3 Componentes da moenda

Atualmente a moenda, como processo de extração de caldo, é o sistema mais utilizado do mercado sucroalcooleiro, estando presente em pelo menos 97% das usinas e destilarias do Brasil, permite a separação do caldo com cerca de 96% do açúcar da cana e cerca de 18 grau brix (quantidade de compostos solúveis numa solução de sacarose).

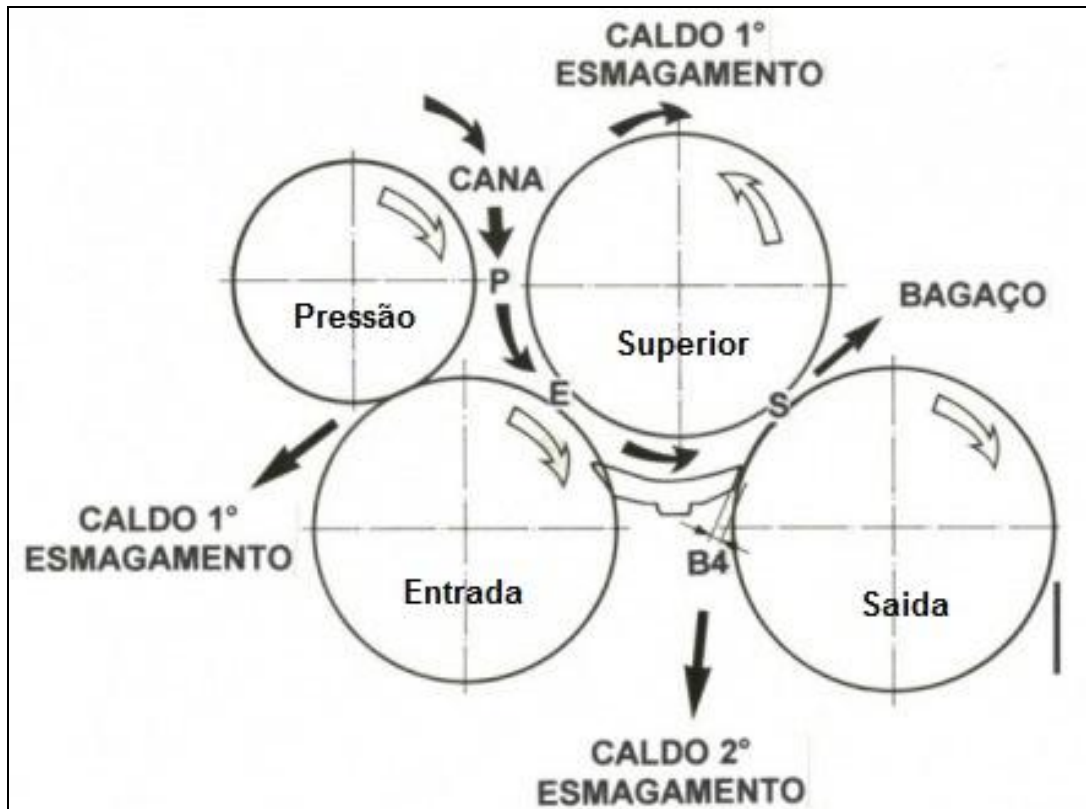
Uma moenda é composta por um conjunto de ternos, cada um com acionamento por motores individuais ou por engrenagens chamadas rodetes (Figura 9). Cada rolo tem um movimento circular com o sentido de operação que guia a cana através do conjunto e por pressões hidráulicas esmagam a cana e extraem o seu caldo, o produto que sai de cada terno e chamado de bagaço da cana.



Fonte: Projetos Copersucar (1996).

FIGURA 9 – 1º e 2º terno com calha Donnelly e esteira intermediária.

Na Figura 10 pode-se observar que a cana sofre o maior esmagamento na região E (abertura entre o rolo superior e o rolo de entrada), e também na região S (abertura entre o rolo superior e o rolo de saída) (DELFINI, 2014).



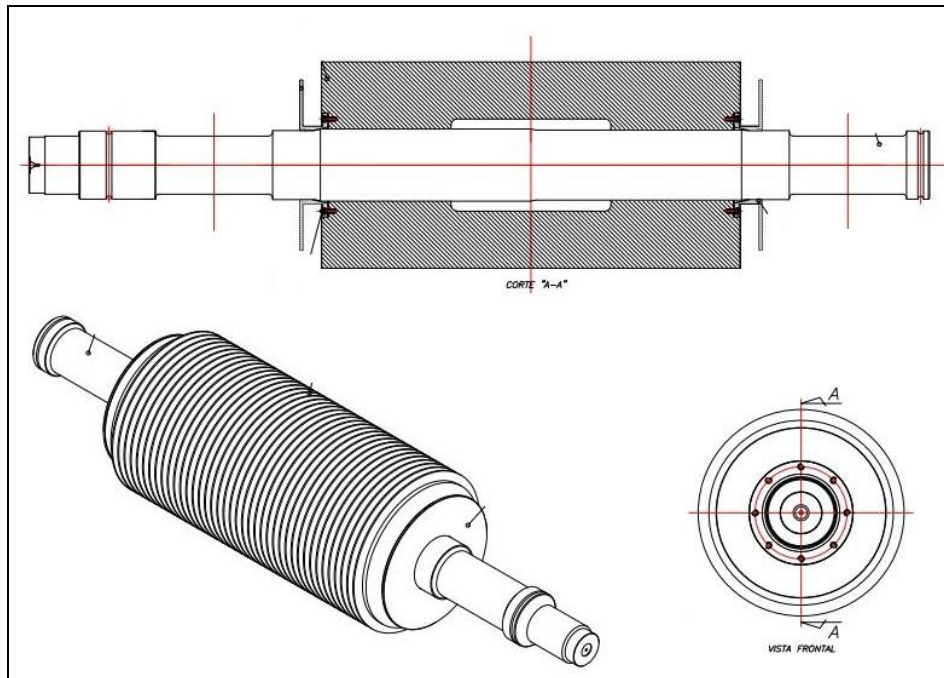
Fonte: <http://pimartins.weebly.com/extraccedilatildeo.html> (2014).

FIGURA 10 – Etapas da extração de caldo no terno.

2.3.1 Rolos de Moenda

Cada rolo de moenda é formado por dois componentes principais, eixos e camisas, que são ajustados entre si com interferência, para fixação do conjunto (Figura 11). Outro detalhe importante dos rolos de moenda são os frisos, estes são usinados diretamente na camisa temos:

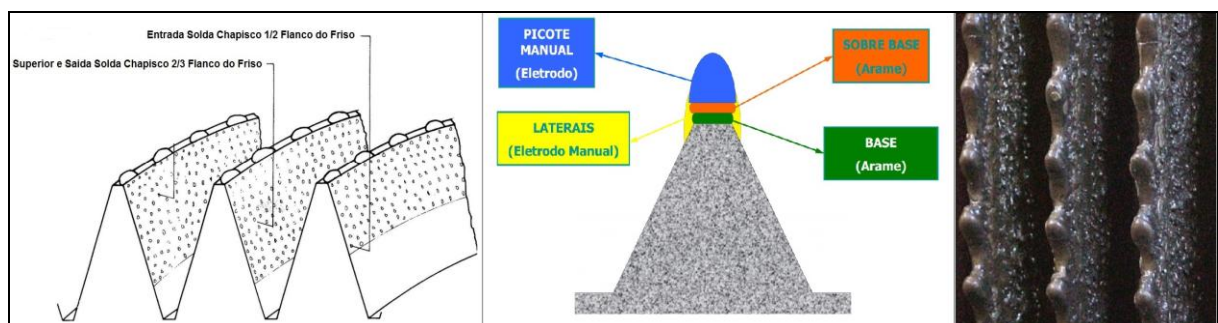
- **Eixo:** geralmente é feito em aço forjado temperado e revenido, possui dureza de 270 a 300 HB. Possui em suas extremidades rebaixos para fixação de mancais de contato.
- **Camisas:** Feitas fundidas em ferro fundido cinzento ou nodular, dependendo da posição que o rolo irá ocupar. São as camisas que recebem o refrisamento e entram em contato direto com a cana. (CTC, 2002).



Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

FIGURA 11 – Desenho de eixo com camisa ajustada.

- **Frisos:** Para Payne (1990) os frisos têm por finalidade aumentar a área de contato, criar regiões de drenagem para o caldo e receber em sua estrutura através de solda, os chapiscos e picotes para o aumento do atrito (Figura 12). Ao se trabalhar com frisos preparados por solda, tem-se a otimização da alimentação e também a possibilidade de se trabalhar com velocidades periféricas de operação maiores.



Fonte: DELFINI, Paulo; Revisão na Moenda (2013).

FIGURA 12 – Aplicação de solda chapisco e picote na camisa.

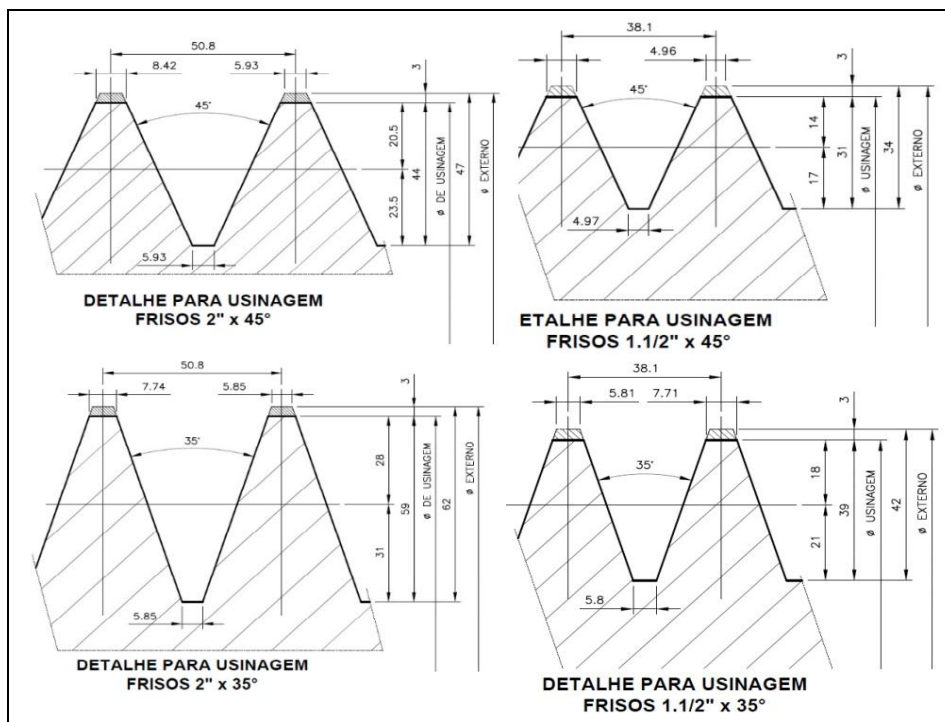
Um terno de moenda atualmente é formado por quatro rolos, cada um com função específica no processo de extração do caldo, são estes que esmagam a cana entre as suas aberturas. De acordo com o Centro de Tecnologia Copersucar (2002), temos:

- **Rolo de Pressão:** Este rolo foi introduzido aos ternos de moendas com a finalidade de exercer uma alimentação forçada entre os rolos superiores e de entrada. Como a abertura do rolo de pressão é grande comparada às outras aberturas, a extração de caldo entre o rolo de pressão e o rolo superior é mínima. A pressão feita na cana por este rolo é pequena, sua camisa geralmente é feita de ferro fundido cinzento que tem baixo custo. Os frisos dos rolos de pressão são os mesmos usados no rolo superior (Figuras 9 e 10).
- **Rolo de Entrada:** Este rolo permite a entrada da cana na primeira região de alta pressão, formada entre ele mesmo e o rolo superior, primeira região de extração, o caldo escorre no fundo do friso em sentido à parte traseira do terno. Os frisos do rolo de entrada fazem a limpeza dos frisos do rolo de pressão, exemplo para moenda (46" x 84") tem-se um friso de passo de 2", com ângulo de 35° e altura de 62 mm. Sua camisa é feita de ferro fundido nodular pois esta suporta maiores forças de compressão (Figura 9 e 10).
- **Rolo Superior:** é o principal rolo de esmagamento da cana, forma a região de alimentação com o rolo de pressão. Também a 1° região de esmagamento da cana com o rolo de entrada, forma com a bagaceira uma região de condução da cana e, por último, a 2° região de esmagamento com o rolo de saída. Este rolo é posicionado no castelo de forma livre a fim de deslocar para cima quando a cana passa através das aberturas. Sua camisa é feita também de ferro fundido nodular. Os frisos deste rolo dependem da bitola da moenda, como por exemplo, para a moenda (46" x 84"), tem-se um friso de passo de 2", com ângulo de 45° e altura de 47 mm. O caldo extraído na região E sobe através do fundo do friso do rolo superior saindo por cima deste, este caldo é capturado por um sistema de calha (Figura 9 e 10).
- **Rolo de Saída:** completa o conjunto de rolos e permite a saída do bagaço do terno, além de extrair uma parte do caldo restante. O caldo que é retirado na região S (Figura 10) sai por uma abertura entre o rolo de saída e a bagaceira e, neste ponto, também se tem um fator chamado reabsorção que será explicado mais a frente. Os frisos deste

rolo são iguais ao do rolo superior e sua camisa é feita também de ferro fundido nodular.

A prática usual nas usinas hoje em dia é a de comprar a camisa do rolo de saída com o diâmetro suficiente para que, na próxima safra a camisa já desgastada seja refrisada com um diâmetro menor e ocupe a posição de rolo superior, depois a camisa do rolo superior desgastada novamente é refrisada para ocupar a posição de rolo de entrada, após esse revezamento a camisa é descartada. A camisa do rolo de pressão sofre menor desgaste e é repetida na sua posição de 3 a 5 safras até que seja descartada, podendo também ser refrisada no caso de deterioramento excessivo dos frisos. Essa prática descrita acima implica em diâmetros diferentes entre os rolos de moenda.

A Figura 13 mostra um desenho técnico que proporciona um melhor entendimento da usinagem que é feita nas camisas para a obtenção dos frisos. Existem modelos de friso de 45° e 35°, sendo que o primeiro proporciona maior resistência, por isso é usado no 1° e 2° terno, e o segundo proporciona maior área de contato, sendo usado nos ternos seguintes. (DELFINI, 2013)



Fonte: DELFINI, Paulo; Revisão na Moenda (2013).

FIGURA 13 – Detalhe para usinagem dos frisos.

2.3.2 Castelos e outros componentes

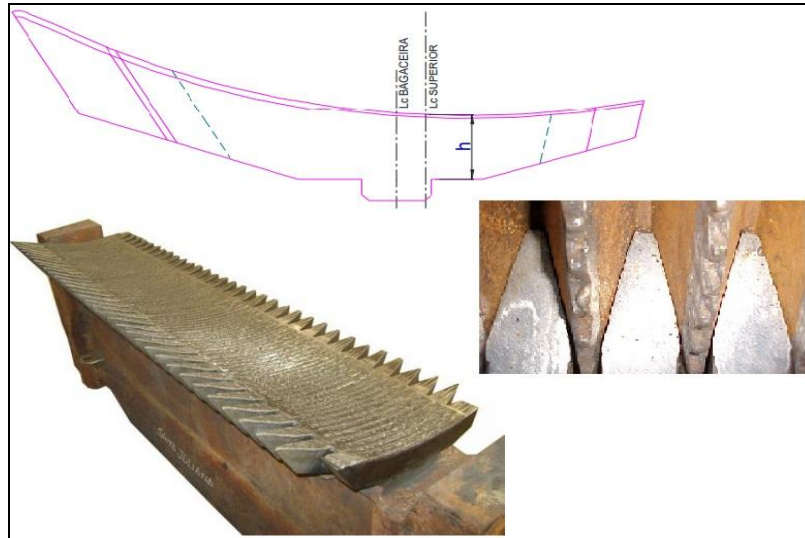
Os castelos é um equipamento construído em aço carbono fundido ASTM A27 Gr 65-35, em dois modelos de guias de deslocamento dos mancais superiores retos ou verticais e inclinados a 15°. Os dois modelos foram projetados para suportar grandes esforços e amplas faixas de regulagem (Figura 14). Os cabeçotes laterais são fixados por parafusos tipo olhal e pinos de fixação. Todas as partes se encaixam ao castelo, recebendo um revestimento de aço inoxidável para eliminar a corrosão das partes, evitando-se folgas. Os assentos dos mancais, o apoio do carro da bagaceira e os encaixes dos cabeçotes laterais são revestidos em aço inox AISI 304, e as partes que não são revestidas de aço inoxidável são protegidas por pintura epóxi. Para cada terno de moenda tem-se um par de castelos, equipamento que se torna essencial para a regulagem de moendas, pois ele define toda a geometria de sustentação dos rolos e demais equipamentos (MORENO, 2014).



Fonte: <http://tecsucro.blogspot.com.br> (2014).

FIGURA 14 – Castelos e cabeçotes laterais da moenda.

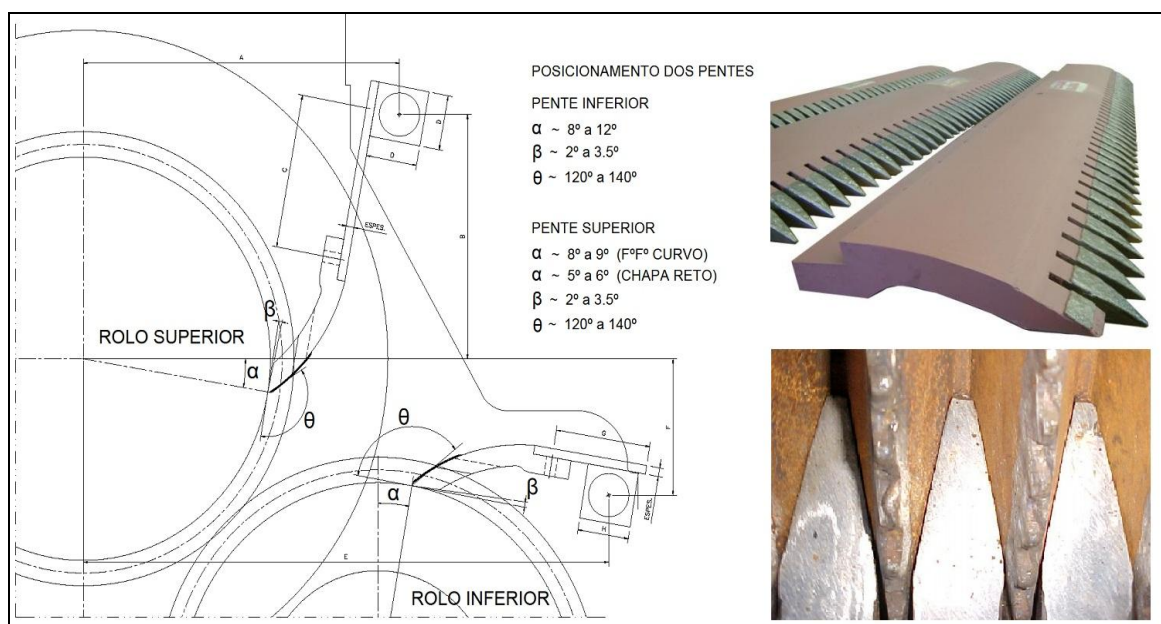
Bagaceira: posicionada entre o rolo de entrada e de saída, tem a função de conduzir a cana através do terno, a mesma sempre é regulada para entrar em contato com os frisos do rolo de entrada para efetuar a limpeza do mesmo (Figura 15). Na parte voltada para o rolo de saída é calculada sempre uma abertura para a drenagem de caldo da região S (Figura 10) de esmagamento. Uma bagaceira deve ser bem ajustada, pois o seu posicionamento incorreto causa dificuldades de alimentação do terno. Os frisos feitos na bagaceira têm 2 graus a menos de inclinação que os frisos do rolo de entrada, isto permite que suas pontas encostem-se ao fundo dos frisos do rolo de entrada. É feita de aço fundido SAE 1050, com recobrimento de solda dura (PAYNE, 1990).



Fonte: DELFINI, Paulo; Revisão na Moenda (2013).

FIGURA 15 – Bagaceira com perfil e ajuste no rolo.

Pentes: são dois os tipos de pentes usados na moenda, um que executa a limpeza do rolo superior e fica posicionado próximo à saída de caldo que sobe pelo fundo friso do rolo superior. Sua estrutura de suspensão permite a instalação de calhas para a drenagem do caldo (Figura 16). O outro executa a limpeza do rolo de saída e fica logo após a saída do bagaço do terno, sua estrutura possui uma chapa acoplada para guiar o bagaço até a esteira intermediária (DELFINI, 2013).



Fonte: DELFINI, Paulo; Revisão na Moenda (2013).

FIGURA 16 – Detalhe para montagem dos pentes.

Flanges: são feitos em aço ASTM A283 – C. Têm função de não deixar que o bagaço saia pela as laterais da moenda. É acoplada à camisa do eixo superior e seu diâmetro permite que ele passe tangenciado a bagaceira e os rolos restantes (MORENO, 2014).



Fonte: DELFINI, Paulo; Revisão na Moenda (2013).

FIGURA 17 – Detalhe para montagem dos Flanges.

Calha Donnelly: possui secção transversal retangular com alturas de 2 a 6 metros, e posicionada na vertical sobre todos os ternos, sendo que sua chapa traseira possui uma divergência de 1 a 3 graus a fim de se reduzir o atrito. O peso de coluna formado pela própria cana dentro da Donnelly eleva a densidade da cana no fundo para cerca de 500 a 550 Kg/m³. A alimentação da calha Donnelly é feita pela esteira desfibrada, pois ela fornece uma camada fina e uniforme de cana, adequada para a entrada no topo da mesma (Figura 9). Para melhor eficiência é aconselhável no 1º terno a Donnelly sempre trabalhar com o nível máximo permitido (CTC, 1999).

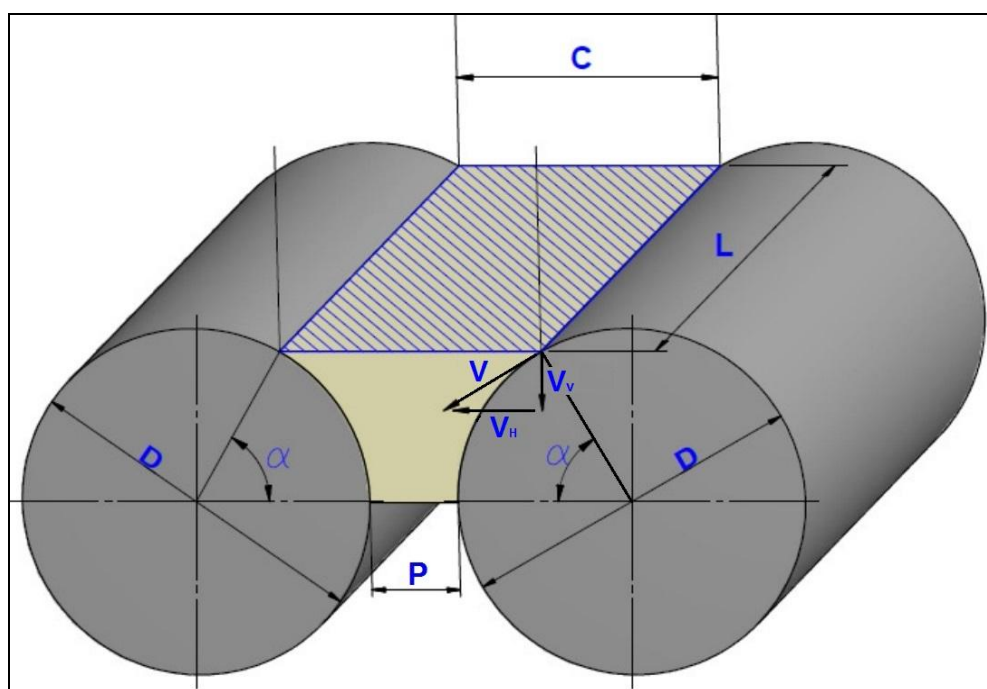
2.4 Triangulação e Regulagem de Moendas

Para que a moenda possa entrar em operação, é necessário que na hora da montagem siga-se a risca os procedimentos de regulagem e triangulação da moenda. Para que esses valores sejam definidos, é preciso realizar cálculos baseados nas predefinições de dimensões de rolos, fibra de cana esperada, velocidade dos rolos, tipo de castelo, reabsorção e moagem a ser atingida. Esses cálculos são feitos seguindo conceitos e formulas obtido tanto na pratica como em teoria. Vale ressaltar que os cálculos de triangulação e regulagem de moendas devem ser feito em todas as safras.

Segundo Hugot (1977), a regulagem das moendas é a forma de determinar as posições dos três rolos e da bagaceira para obter a condição mais favorável tanto na alimentação como nos resultados de extração.

2.4.1 Cálculo de alimentação e densidade na calha Donnelly

De acordo com Delfini (2014), para verificar se uma moenda tem capacidade de processar uma determinada quantidade de cana e preciso descobrir qual a densidade de cana necessária para alimentação do terno e se está atende a sua capacidade volumétrica. Mas antes que a etapa acima seja realizada é necessário realizar o cálculo de ângulo máximo de alimentação, este cálculo dá uma ideia de qual ângulo é concordante com os conceitos de alimentação volumétrica dos rolos (Figura 18).



Fonte: DELFINI, Paulo; Conceitos Teóricos Fund. Reg. Moendas (2014).

FIGURA 18 – Esquema para cálculo do ângulo de alimentação máxima.

No modelo acima, tem-se o rolo de pressão à esquerda e o rolo superior à direita, sendo que a calha Donnelly se apoia sobre esses rolos com secção transversal igual ao retângulo formado pelo comprimento do rolo (L) e a abertura de alimentação (C), além de todos os elementos geométricos que envolvem a teoria de alimentação por ângulo máximo tem-se:

α – Ângulo máximo de alimentação: este ângulo é define o ponto da superfície do rolo aonde a calha irá se apoiar;

P – Abertura de pressão em metros: esta é a abertura entre o rolo de pressão e superior;

C – Abertura da calha Donnelly em metros;

L – Comprimento da camisa do rolo em metros: depende da bitola do terno;

D – Diâmetro do rolo em metros: depende da bitola da terno;

V – Velocidade periférica do rolo em m/min; depende da rotação e do diâmetro do rolo;

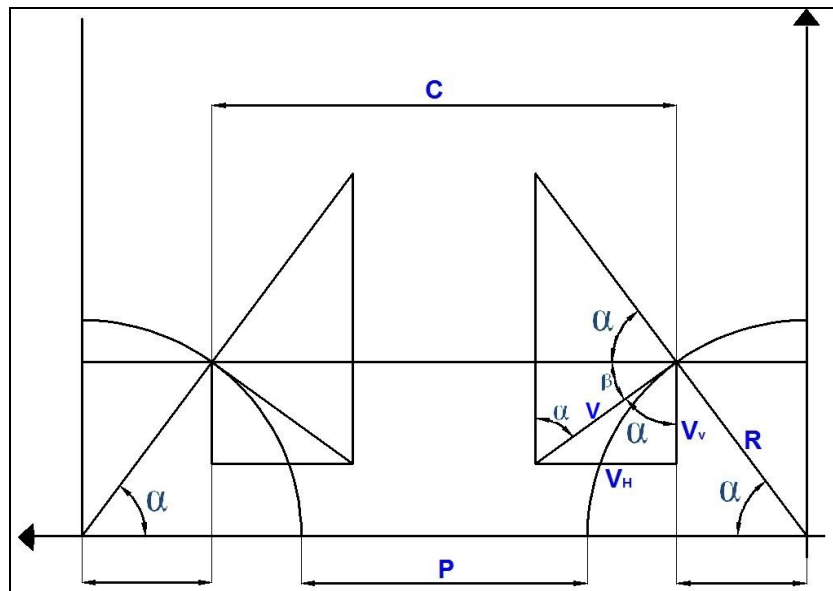
V_H - Componente horizontal da velocidade periférica em m/min;

V_v - Componente vertical da velocidade periférica em m/min;

Como o rolo de pressão possui diâmetro menor que o rolo superior os ângulos (α), na prática, são diferentes. Mas para a determinação do melhor ângulo de alimentação através do conceito de derivada, por hora consideram-se estes dois rolos simétricos. A equação para determinar o volume da cana por unidade de largura (Q) alimentada na Donnelly é:

$$Q = V_v \times C \quad (1)$$

No triângulo formado pela velocidade tem-se (Figura 19):



Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

FIGURA 19 – Diagrama do ângulo de alimentação máxima.

Pode-se então definir a velocidade vertical:

$$V_v = V \times \cos \alpha \quad (2)$$

Portanto, o volume da cana por unidade de largura será:

$$Q = V \times \cos \alpha \times C \quad (3)$$

Também se pode calcular a abertura C usando o raio do rolo (R):

$$C = P + 2 \times (R - R \times \cos \alpha) \quad (4)$$

$$C = P + 2R - 2R \times \cos \alpha \quad (5)$$

$$C = P + D - D \times \cos \alpha \quad (6)$$

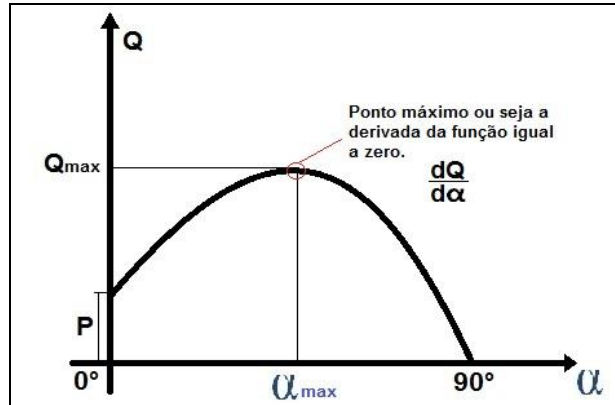
$$C = D [(P / D) + 1 - \cos \alpha] \quad (7)$$

Com a abertura da calha (C) definida pela fórmula acima, pode-se substituí-lo na fórmula do volume da cana por unidade de largura (Q):

$$Q = V \times \cos \alpha \times D [(P / D) + 1 - \cos \alpha] \quad (8)$$

$$Q = V \times D \{ [1 + (P / D)] \times \cos \alpha - \cos^2 \alpha \} \quad (9)$$

Observando a Figura 19 e 20, pode-se ver que quanto mais próximo de 90 graus for o ângulo, mais a velocidade vertical se aproxima de zero. Também é possível ver isto na fórmula da velocidade vertical, e que o volume da cana por unidade de largura (Q) também tende a zero. Quando o ângulo for de zero grau, tem-se uma velocidade vertical (V_v) máxima, ou seja, pela fórmula do volume da cana por unidade de largura (Q) seria máxima, se não fosse o caso de a abertura C tender a abertura P . Este fechamento da Donnelly também limita a alimentação. Assim, para achar ângulo onde se tem um melhor balanço entre as velocidades, deriva-se o valor Q em função do ângulo α e, após igualar a zero, para achar o ponto máximo do volume da cana por unidade de largura (Q) em relação ao ângulo α (DELFINI, 2014).



Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

FIGURA 20 – Gráfico de relação entre α_{\max} e Q .

Fazendo a derivação dos termos da fórmula (Q) tem-se:

$$\frac{dQ}{d\alpha} = V \times D \{ [1 + (P/D)] \times (-\sin \alpha) + 2\cos \alpha \times \sin \alpha \} \quad (10)$$

Para a derivada igual a zero o ângulo máximo é:

$$V \times D \{ [1 + (P/D)] \times (-\sin \alpha) + 2\cos \alpha \times \sin \alpha \} = 0 \quad (11)$$

$$\{ [1 + (P/D)] \times (-\sin \alpha) + 2\cos \alpha \times \sin \alpha \} = 0 \quad (12)$$

$$(V \times D \times \sin \alpha) \times \{ 2\cos \alpha - [1 + (P/D)] \} = 0 \quad (13)$$

$$2\cos \alpha - [1 + (P/D)] = 0 / (V \times D \times \sin \alpha) \quad (14)$$

$$\cos \alpha = [1 + (P/D)] \times 1/2 \quad (15)$$

$$\alpha_{\max} = \cos^{-1} \{ 0,5 \times [1 + (P/D)] \} \quad (16)$$

Depois de finalizada a etapa de obtenção do ângulo máximo de alimentação, pode-se calcular a abertura máxima da Donnelly, verificar qual a densidade necessária para alimentar o terno em relação ao ângulo e também posicionar as chapas da calha Donnelly. A maioria

dos consultores de moenda do Brasil adotou o ângulo de $57,5^\circ$, mas sempre observando o ângulo máximo calculado.

A teoria de ângulo máximo é baseada na melhor velocidade vertical em relação à certa abertura de calha Donnelly, mas devido às forças de atrito entre a cana e as chapas da calha e o seu próprio emaranhamento, a mesma não consegue descer com velocidade igual a dos rolos, isto gera espaços vazios que causam redução na densidade da cana dentro da Donnelly. O ângulo escolhido pelos consultores geralmente é maior que o ângulo máximo, isto implica em uma abertura de calha maior o que reduz o agarramento.

Comparando as densidades nas duas situações tem-se, que quanto maior o ângulo mais elevada é a densidade necessária, e que no caso do ângulo máximo mesmo com a densidade necessária sendo menor que do ângulo de $57,5^\circ$, por vezes os espaços vazios não deixam a cana atingir este valor, então, neste caso, o ângulo escolhido pelos consultores se adequa melhor, pois fornece uma densidade mais constante ao terno de moenda.

Assim, de acordo com Delfini (2014), o valor da abertura máxima da Donnelly correspondente ao ângulo máximo de alimentação seria:

$$C = D [(P / D) + 1 - \cos \alpha] \quad (17)$$

$$\cos \alpha = [1 + (P / D)] \times \frac{1}{2} \quad (18)$$

$$C = D \left[1 + \frac{P}{D} - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{P}{D} \right) \right] \quad (19)$$

$$C = D + P - \frac{D}{2} \left(1 + \frac{P}{D} \right) \quad (20)$$

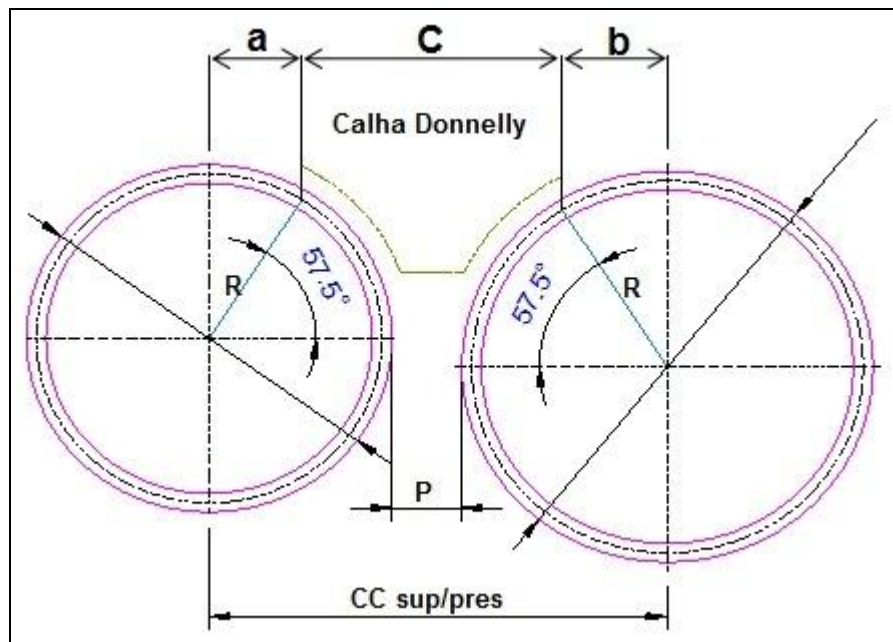
$$C = D + P - \frac{D}{2} - \frac{P}{2} \quad (21)$$

$$C_{\text{máx}} = \frac{1}{2} (D + P) \quad (22)$$

As equações abaixo são usadas para estipular a posição das chapas da 1ª Donnelly e verificar qual a densidade de cana necessária de alimentação dos ternos para o ângulo recomendando de $57,5^\circ$. Pode-se também verificar quais seriam essas dimensões de

montagem usando o ângulo máximo de alimentação, isto permite que em campo seja feitos testes em relação à alimentação do terno oscilando a posição destas chapas.

Primeiramente, deve-se definir as posições traçando-se duas linhas de centro nos rolos de pressão (direita) e superior (esquerda), e calcular as medidas a e b que serão usadas em campo para a ajustagem da Donnelly (Figura 21). Nestes cálculos deve-se usar medidas em metros, temos então conforme Delfini, (2014).



Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

FIGURA 21 – Posição de montagem das chapas da calha Donnelly.

Pressão

$$\cos 57,5^\circ = \frac{a}{R_{pr}}$$

$$a = R_{pr} \times \cos 57,5^\circ$$

Superior

$$\cos 57,5^\circ = \frac{b}{R_{sup}}$$

$$b = R_{sup} \times \cos 57,5^\circ$$

Para achar a medida C , usa-se a fórmula apresentada abaixo que precisa do centro a centro entre os dois rolos ($CC_{sup/pres}$) assim temos:

$$C = CC_{sup/pres} - (a + b) \quad (23)$$

A segunda parte do dimensionamento da Donnelly consiste em verificar qual será densidade que a cana precisar ter para alimentar suficientemente o terno em questão. Para isto

deve-se calcular a velocidade vertical dos rolos e fazer uma media das mesmas, e depois com a fórmula de vazão mássica de cana achar a densidade necessária, assim:

- ✓ Velocidade vertical do Rolo de pressão e Rolo superior:

$$V_v = \pi \times D \times n \times \cos 57,5^\circ \quad (24)$$

Onde o valor (D) é o diâmetro primitivo em metros e (n) e a rotação em rpm.

Se o rolo de pressão for acionado por rodetes (engrenagens), deve-se inserir a relação de transmissão (i) na fórmula.

- ✓ Densidade necessária será: $Q_c = L \times C \times V_{vm} \times d_c \times 60$. Então, isolando d_c , tem-se:

$$d_c = Q_c / (L \times C \times V_{vm} \times 60) \quad (25)$$

onde:

Q_c – Vazão mássica de cana em toneladas por hora (ton/h);

L – Comprimento da camisa do rolo em metros;

C - Abertura da calha Donnelly em metros;

V_{vm} – Velocidade vertical media entre rolos em m/min;

d_c – densidade da cana em ton/m³;

Para Delfini (2014), os valores de referência para densidade da cana são: menor que 0,5 ton/m³, valor facilmente atingido; de 0,50 até 0,55 ton/m³, valores normais; de 0,55 até 0,60 ton/m³, valores relativamente elevados; maior que 0,60 até 0,70 ton/m³, valores extremamente elevado e maior que 0,70 ton/m³ são praticamente impossível no sistema atual.

2.4.2 Fatores influentes no cálculo das aberturas

Antes de definir as aberturas por onde a cana deve passar as medidas relativas ao posicionamento dos rolos, e também a posição da bagaceira, deve-se conhecer os conceitos de volume descrito, fator de reabsorção e compactação. Só assim chega-se até a equação da abertura de saída em trabalho, sendo esta a primeira abertura que inicia todo o cálculo de regulagem do terno, que fica entre o rolo de saída e o rolo superior, pressupondo que este esteja em trabalho em um determinado deslocamento, geralmente 15 milímetros.

Volume descrito por um par de rolos (V_d): Volume por unidade de tempo proveniente de um par de rolos com diâmetro D e comprimento L , girando a uma velocidade v , com uma abertura em trabalho S entre eles (Figura 22). Fórmula para cálculo:

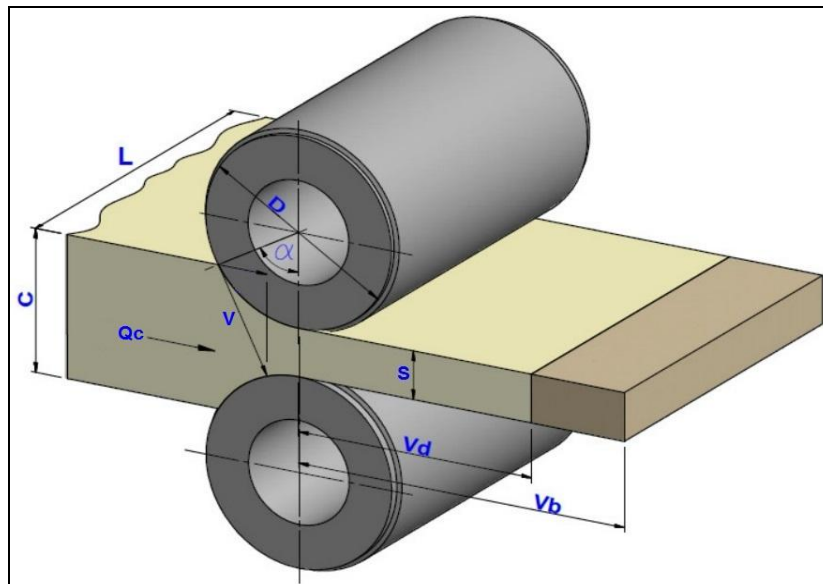
$$V_d = L \times S \times V_m \quad (26)$$

onde:

V_m – Velocidade periférica média entre os dois rolos;

S – Abertura de saída do bagaço;

L – Comprimento da camisa do rolo.



Fonte: DELFINI, Paulo; Conceitos Teóricos Fund. Reg. Moendas (2014).

FIGURA 22 – Volume de bagaço descrito pelo perímetro dos rolos.

Fator de Reabsorção (K): Para Delfini (2014), o processo de quantificar teoricamente o caldo extraído, relaciona o volume de cana que entra (Q_c), que é uma mistura de fibra e caldo com o volume de saída de material descrito pelos rolos. Logo, o caldo extraído teórico (Q_{jt}) seria o volume de cana que entra menos o volume descrito pelos rolos, assim:

$$Q_{jt} = Q_c - V_d \quad (27)$$

Logo que se iniciaram estudos mais específicos sobre o esmagamento de cana em conjuntos de rolos, os engenheiros e encarregados de moenda perceberam que havia uma

discrepância entre o volume descrito pelos rolos (V_d) e o volume real de bagaço que saia do terno (V_b), sendo este último maior. Então se $V_b > V_d$ isto implica que o caldo real extraído (Q_j) é:

$$Q_j = Q_c - V_b \quad (28)$$

Tem-se então que $Q_j < Q_{jt}$.

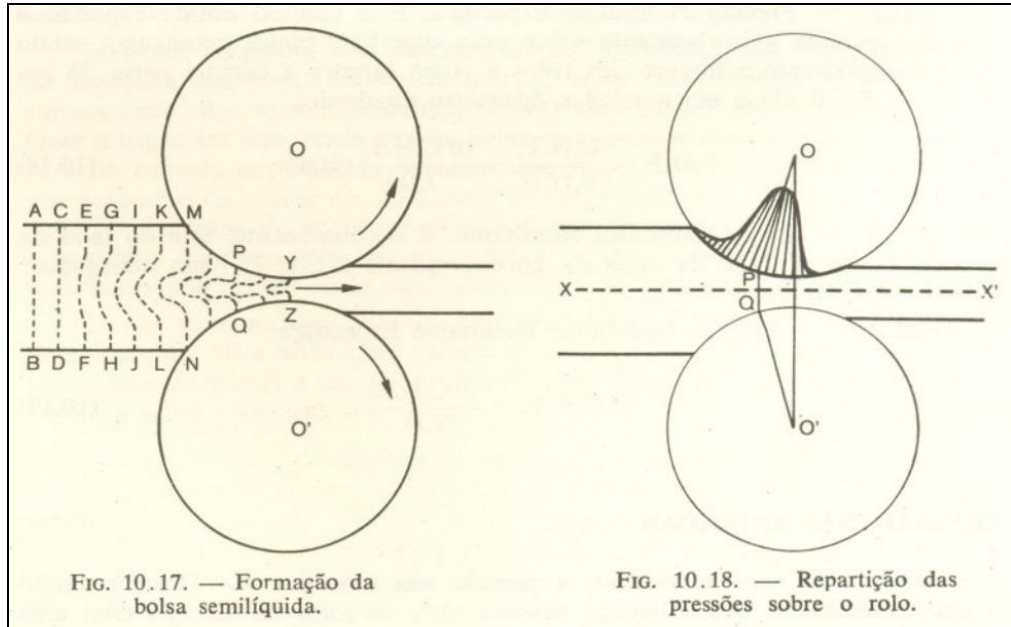
A explicação desse fenômeno estaria na taxa de compressão da moenda, à medida que a cana se aproxima da região de alta pressão entre os rolos, a sua fibra é comprimida e o caldo escorre no fundo do friso. Quando se chega à região de pressão máxima, a fibra se torna impermeável e também praticamente incompreensível, é neste ponto, quando a fibra deixa de perder volume e logo a sua frente, na saída, encontra uma região de baixa pressão, que o bagaço é impulsionado e acelerado para frente pela energia potencial de compressão acumulada e a sua velocidade, comparada com a velocidade periférica do rolo, aumenta consideravelmente.

Ainda na região de alta pressão, quando a fibra se torna impermeável, tem-se a formação de bolsas de caldo, ou seja, o caldo foi extraído da fibra só que não consegue escapar para o fundo do friso. Quando o bagaço sai da região de alta pressão, este caldo espirra e arrasta bagaço com ele, ao mesmo tempo este último se expande e reabsorve todo o caldo, daí o nome do fenômeno. Pode-se concluir que o aumento de velocidade e o arraste no fenômeno citado acima gera o aumento de volume de material que sai do terno.

De acordo com Hugot (1977), medir a quantidade de caldo preso ou a velocidade real da saída do bagaço seria muito difícil, então se criou a relação entre o volume de bagaço que sai do terno com o volume descrito pelos rolos para definir numericamente o fator de reabsorção (K) temos:

$$(K = V_b / V_d) \quad (29)$$

A Figura 23 mostra PQ que é o início da região de alta pressão, YZ que é a região de pressão máxima e a partir deste a região de saída ou baixa pressão.



Fonte: E. HUGOT, Manual da engenharia açucareira, Pag. 156 (1977).

FIGURA 23 – Zona de alta pressão entre os rolos (Fator de Reabsorção).

Este fenômeno já foi estudado por diversos pesquisadores de moendas como, por exemplo, Hugot (1977) e Rein (2007).

De acordo com Rein (2007), sob condições controladas em testes realizados no SRI e Universidade de Queensland (Austrália), o volume de bagaço (sem vazios) descarregado por uma moenda trabalhando em alta compressão é maior que o volume descrito na abertura no plano axial entre os rolos. Este fenômeno é descrito como reabsorção e a relação entre o volume de bagaço e o volume descrito é denominado fator de reabsorção (k).

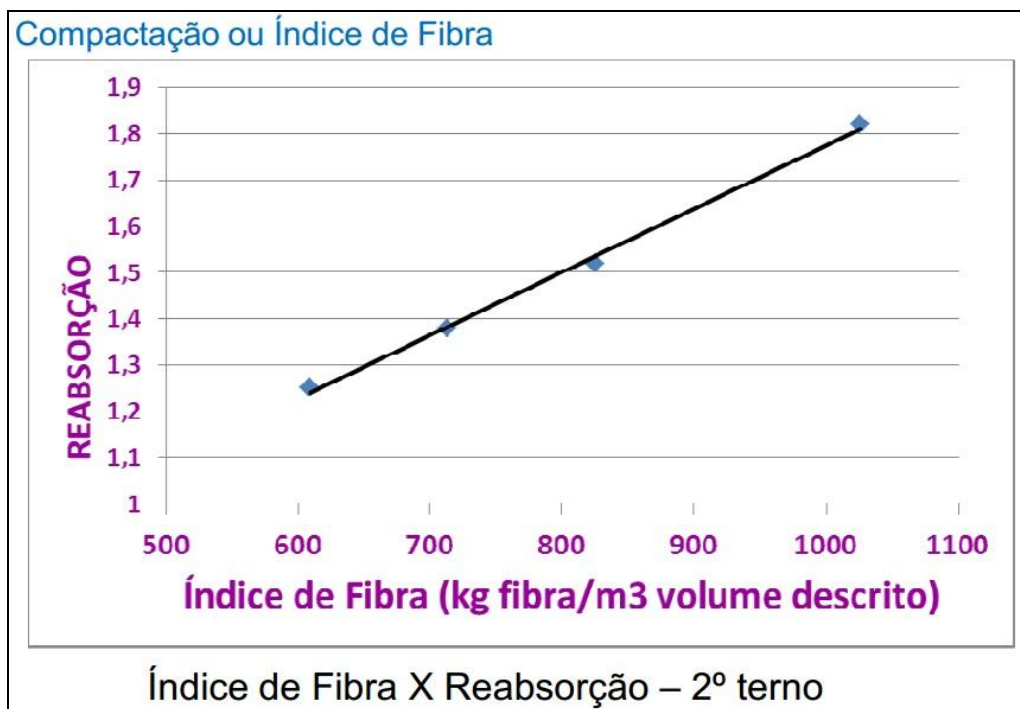
Quando a pressão no bagaço atinge o valor máximo um pouco antes da abertura e o caldo não pode fluir contra o fluxo a partir deste ponto. A partir deste ponto o caldo flui para frente através da camada de fibra e/ou toda a massa de caldo e fibra é extrusada através da abertura de trabalho a uma velocidade maior que da superfície dos rolos.

Para Hugot (1977), a permeabilidade da massa fibrosa do bagaço livre diminui quando a pressão aumenta, e se torna praticamente impermeável na região de alta pressão, o caldo que não escapa na zona de alta permeabilidade, ou seja, na região de baixa pressão fica então preso. No início da zona de alta pressão, na direção de PQ, chega um material composto de caldo muito misturado às fibras. Este material comprimido tende a jorrar pela primeira saída que se lhe oferece, provavelmente arrastando algumas fibras com ele, assim quando o mesmo chega ao plano axial OO' , encontra à sua frente valores de pressões decrescentes, o

líquido precipita-se para esta zona e encontra um bagaço relativamente seco, em expansão, formando uma esponja, na qual outra vez se embebe imediatamente. Conclui-se para liberar o caldo gasta-se uma energia enorme, porém, uma grande fração deste caldo liberado é, imediatamente, perdida com a reembebição.

Compactação ou índice de fibra (I): é a relação entre a taxa de fibra (Q_f) em Kg/min com a taxa de volume descrito pelos rolos (V_d) em m^3/min ou a densidade aparente da fibra em qualquer ponto do processo de esmagamento, é medida em Kg/m^3 , tendo-se: $I = Q_f / V_d$.

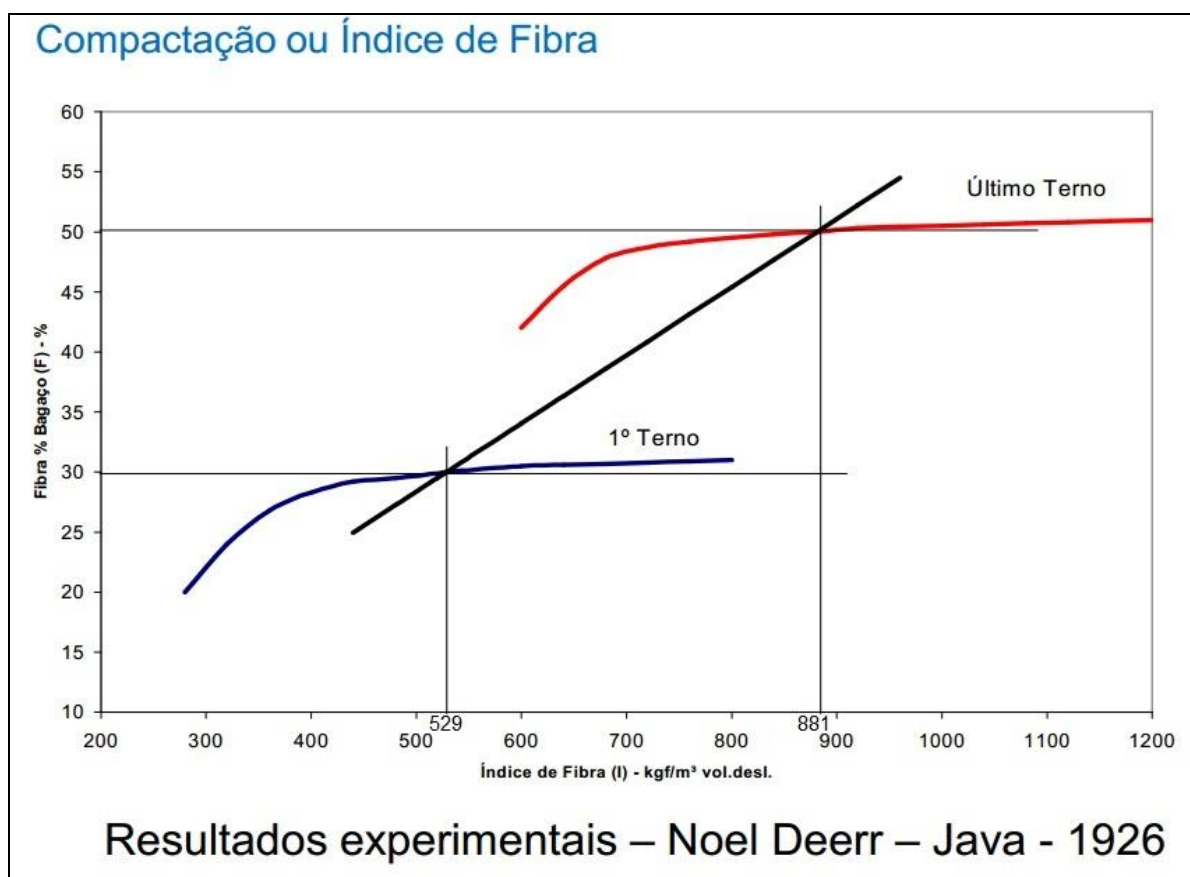
O fator de reabsorção tem uma relação linear com a compactação, já o teor de fibra do bagaço (F_b) que sai de cada terno, que é a porcentagem de fibra contida na mistura fibra e caldo, tem uma relação não linear com a compactação. Pois se chega a um ponto onde a pressão causa elevados valores de compactação, aumentando a reabsorção e o teor de fibra do bagaço, que depende do caldo que é extraído, tendendo a estabilizar seus valores e desacelerando seu crescimento. Em vista deste fato, os engenheiros de moenda estipularam que a compactação deve manter-se dentro de uma faixa onde o fator de reabsorção seja tolerável (PAYNE, 1990). O gráfico da Figura 24 mostra a relação entre o índice de fibra e a reabsorção.



Fonte: DELFINI, Paulo; Conceitos Teóricos Fund. Reg. Moendas (2014).

FIGURA 24 – Gráfico da relação entre índice de fibra e a reabsorção.

Através de testes realizados na Austrália foi estipulado um valor médio para a reabsorção de 1,4, com o terno apresentando uma boa eficiência entre extração e gasto de energia. Mas para um conjunto de terno aplica-se uma compactação crescente, ou seja, no 1º terno trabalha-se com compactação de 529 Kg/m³, teor de fibra 30% e reabsorção em torno de 1,15 e para o último terno os valores de 881 Kg/m³, 50% e 1,55, nos ternos intermediários usa-se uma progressão aritmética do teor de fibra do bagaço e seus respectivos índices de fibra, (DELFINI, 2014).



Fonte: DELFINI, Paulo; Conceitos Teóricos Fund. Reg. Moendas (2014).

FIGURA 25 – Gráfico da relação entre índice de fibra e a teor de fibra do bagaço.

Para fazer uma aproximação para o de índice de fibra em relação ao teor de fibra nos ternos intermediários traça-se uma reta ligando o primeiro e último terno (Figura 25).

Nas experiências realizadas em Java percebe-se que a progressão dos valores de teor de fibra se mantém quase lineares até a compactação de 881 Kg/m³, acima disto tem-se a desaceleração causada pela reabsorção.

Monta-se então a equação da reta

$$F_b = a I + b, \quad (30)$$

sendo F_b o teor de fibra e a imagem da função e o I o índice de compactação é o domínio da função, a e b são as variáveis da equação de primeiro grau. Pode-se fazer o seguinte sistema:

$$\begin{aligned} 30 &= a \times 529 + b \Rightarrow a = (30 - b)/529 \\ 50 &= a \times 881 + b \Rightarrow b = 50 - (a \times 881) \end{aligned}$$

Substituindo a segunda na primeira tem-se:

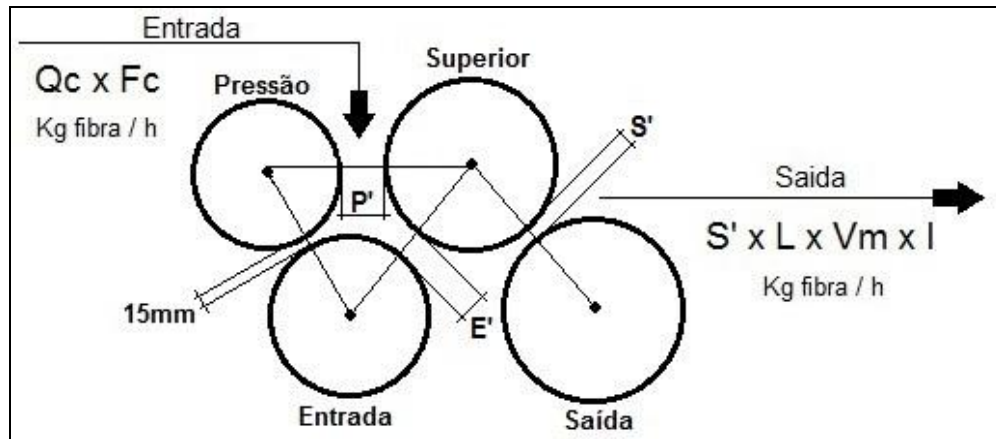
$$\begin{aligned} a &= [30 - 50 + (a \times 881)]/529 \\ 529a - 881a &= -20 \\ a &= (-20) / (-352) \\ \therefore a &= 0,05682 \\ b &= 50 - (0,05714 \times 881) \\ \therefore b &\approx -0,06 \end{aligned}$$

Como a variável b está muito próxima de zero, pode-se desconsidera-la. Assim:

$$\begin{aligned} F_b &= 0,05682 \times I \\ I &= (1 / 0,05714) F_b \\ \therefore I &= 17,6 F_b \end{aligned}$$

2.4.3 Cálculo das aberturas do terno

Depois de definidos todos os conceitos, pode-se aplicar um balanço de fibra para definir a fórmula da abertura de saída em trabalho (S') do terno, considerando que a massa de entrada de fibra é igual à de saída (Figura 26). O hífen representa a medida em trabalho, ou seja, com o rolo superior deslocado.



Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

FIGURA 26 – Balanço de fibra no terno de moenda.

Deve-se considerar alguns fatores de conversão para que a entrada de dados seja feita com unidades de medidas convencionais em cálculos de moenda.

Q_c – Vazão mássica de cana ou moagem horária em toneladas por hora (ton/h);

F_c – Fibra da cana de entrada em porcentagem (%);

S' – Abertura de saída em trabalho, ou seja, o rolo superior deslocado (mm);

L – Comprimento da camisa do rolo em metros (m);

V_m – Velocidade periférica média entre os rolos de saída e superior em (m/min);

I – Índice de compactação de fibra em (Kg/m³);

F_b – Fibra do bagaço em porcentagem (%).

Tem-se a seguinte equação para ($I = 17,6 F_b$) e com fatores de conversão:

$$1000 \times Q_c \times (F_c/100) = (S' / 1000) \times L \times I \times (V_m \times 60) \quad (31)$$

$$1000 \times Q_c \times (F_c/100) = (S' / 1000) \times L \times 17,6 \times F_b \times (V_m \times 60) \quad (32)$$

$$S' = \frac{9,5 \times Q_c \times F_c}{V_m \times L \times F_b} \quad (33)$$

Fazendo uma análise dimensional na equação (31) tem-se:

$$1000 \times \text{ton/h} = \text{mm}/1000 \times \text{m} \times (\text{Kg}/\text{m}^3) \times \text{m}/\text{min} \times 60$$

$$\text{Kg}/\text{h} = (\text{m}^3/\text{h}) \times (\text{Kg}/\text{m}^3)$$

$$\text{Kg}/\text{h} = \text{Kg}/\text{h}$$

O próximo cálculo define a abertura de entrada (E'), também em trabalho. Para isto segue-se o seguinte raciocínio, a cana que passa na abertura de entrada possui uma quantidade de material maior em comparação com a cana que passa na abertura de saída, pois a saída recebe um material já esmagado pela entrada, ou seja, ocorre perda de volume em caldo. Então, logo a abertura de entrada deve ser maior a abertura de saída. Assim, para o sistema atual de moagem, considerando quantidade de caldo extraída em cada ponto, a fibra da cana, a fibra do bagaço, o fator de reabsorção e a compactação, em cada terno; os consultores e engenheiros de moenda estipulam um fator de multiplicação em média de 1,8 na abertura de saída em trabalho para encontrar a abertura de entrada em trabalho.

Para Hugot (1977), a abertura de entrada em trabalho é imediatamente deduzida da abertura de saída em trabalho, sendo a relação entre as duas aberturas estabelecida da seguinte forma, para o 1º terno a relação de 2,2 se forem precedida por um esmagador, para o 2º terno a relação de 2,6 se não for precedida por um esmagador, para o 3º terno a relação de 1,9 e para o 4º terno a relação de 1,8.

Na época em que Hugot escreveu esta edição em 1950, traduzida para o português somente em 1977, as moendas ainda usavam rolos esmagadores instalados antes dos ternos.

Com as tecnologias atuais e a instalação dos rolos de pressão, com diâmetros consideráveis, trabalhando como uma alimentação forçada estes valores, através de testes, foram reavaliados.

O quadro 1, com valores atualizados, mostra, de acordo com o engenheiro mecânico e consultor de moenda Paulo Delfini, E'/S' a relação de abertura de entrada e saída em trabalho.

QUADRO 1 – Relação de abertura entre entrada e saída em trabalho.

RELAÇÃO	QTDE	TERNOS					
	TERNOS	1	2	3	4	5	6
E'/S'	6	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8(2,0)	1,8(2,2)
	5	1,8	1,8	1,8	1,8(2,0)	1,8(2,2)	
	4	1,8	1,8	1,8(2,0)	1,8(2,2)		

Fonte: DELFINI, Paulo; Conceitos Teóricos Fund. Reg. Moendas (2014).

A tabela acima fornece valores para moendas instaladas com 4, 5 ou 6 ternos, percebe-se que as medidas são fixas em 1,8 para os primeiros ternos, podendo ser aumentada nos últimos ternos.

Então a fórmula para a abertura de entrada é:

$$E' = r_e \times S', \quad (34)$$

sendo (r_e) a relação de abertura para a entrada fornecida pela tabela 1.

A seguir usa-se o mesmo raciocínio, usado na abertura de entrada, para achar a abertura entre o rolo superior e o rolo de pressão, chamada de abertura de pressão (P'), também em trabalho. O material que passa na abertura de pressão tem o volume cerca de 5 vezes maior que na abertura de saída, pois o volume de caldo extraído na abertura de entrada e também na abertura de saída, comparada com o caldo que a cana possui ainda na Donnelly, tem esta mesma proporção. Lembrando que a abertura de pressão tem relação direta com o ângulo máximo de alimentação e a abertura máxima da calha donelly, conceitos vistos anteriormente.

A fórmula para a abertura de pressão é:

$$P' = r_p \times S', \quad (35)$$

onde (r_p) a relação de abertura para o pressão fornecida pelo tabela 2.

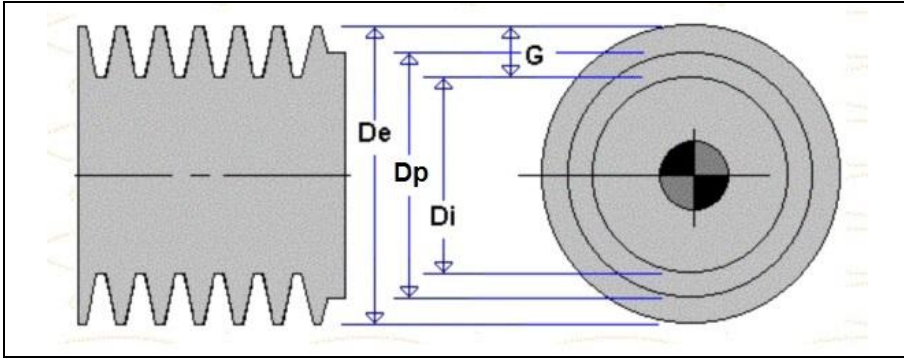
QUADRO 2 - Relação de abertura entre pressão e saída em trabalho.

RELAÇÃO	QTDE	TERNOS					
	TERNOS	1	2	3	4	5	6
P'/S'		5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Fonte: DELFINI, Paulo; Conceitos Teóricos Fund. Reg. Moendas (2014).

2.4.4 Cálculo de triangulação dos ternos

A triangulação tem este nome, pois o que se define agora são as distâncias de centro a centro entre cada rolo também em trabalho, ou seja, considerando o rolo superior deslocando, no formato final as linhas que traçam estas medidas formam triângulos. Primeiramente deve-se definir o diâmetro médio dos rolos ou primitivo (D_p), fazendo se a subtração do diâmetro com a altura do friso, (DELFINI, 2014). Tem-se também a definição de diâmetro externo e interno na Figura 27.



Fonte: <http://pcmusina.wordpress.com/> (2014).

FIGURA 27 – Diâmetros dos rolos de moenda.

A fórmula para este cálculo fica:

$$D_p = D_e - G, \quad (36)$$

onde (D_e) o diâmetro externo e (G) a altura do friso.

Como os diâmetros dos rolos são diferentes deve-se fazer uma média do diâmetro médio do par de rolos analisados, assim:

$$\text{Superior e Saída: } Dm_{sup/said} = (Dp_{superior} + Dp_{saída})/2$$

$$\text{Superior e Entrada: } Dm_{sup/entr} = (Dp_{superior} + Dp_{entrada})/2$$

$$\text{Superior e Pressão: } Dm_{sup/press} = (Dp_{superior} + Dp_{pressão})/2$$

$$\text{Entrada e Pressão: } Dm_{entr/press} = (Dp_{entrada} + Dp_{pressão})/2$$

Agora é possível calcular a distância entre o centro a centro de cada par de rolos em trabalho, tem-se então as seguintes situações:

- Centro a centro do rolo superior com o rolo de saída:

$$CC'_{sup/said} = Dm_{sup/said} + S' \quad (37)$$

- Centro a centro do rolo superior com o rolo de entrada:

$$CC'_{sup/entr} = Dm_{sup/entr} + E' \quad (38)$$

- Centro a centro do rolo superior com o rolo de pressão:

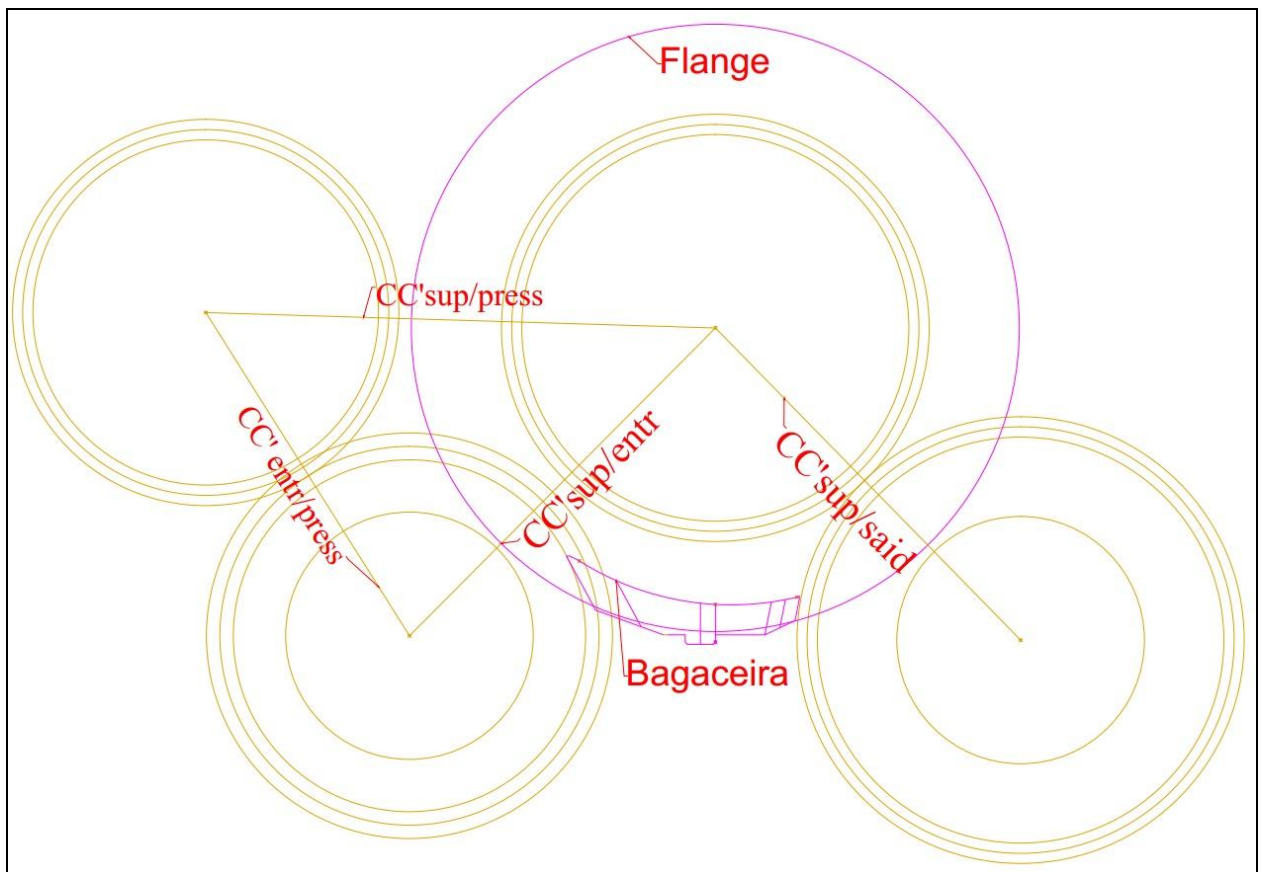
$$CC'_{sup/press} = Dm_{sup/press} + P' \quad (39)$$

Como o rolo de entrada tem a altura de friso maior que os outros rolos com ângulo de 35° para, realizar a limpeza do rolo de pressão, a distância entre os seus centros é acrescentada de 15 mm, considerando a partir do diâmetro interno do rolo de pressão até a cabeça do friso do rolo de entrada, assim tem-se:

- Centro a centro do rolo entrada com o rolo de pressão:

$$CC'_{entr/press} = [(De_{entrada} + De_{pressão})/2] - G_{pressão} + 15 \quad (40)$$

A Figura 28 representa a triangulação com indicações das distâncias entre centros dos rolos, estas medidas permitem que, os operadores e mecânicos de moenda façam a montagem dos rolos de moenda sobre os castelos.

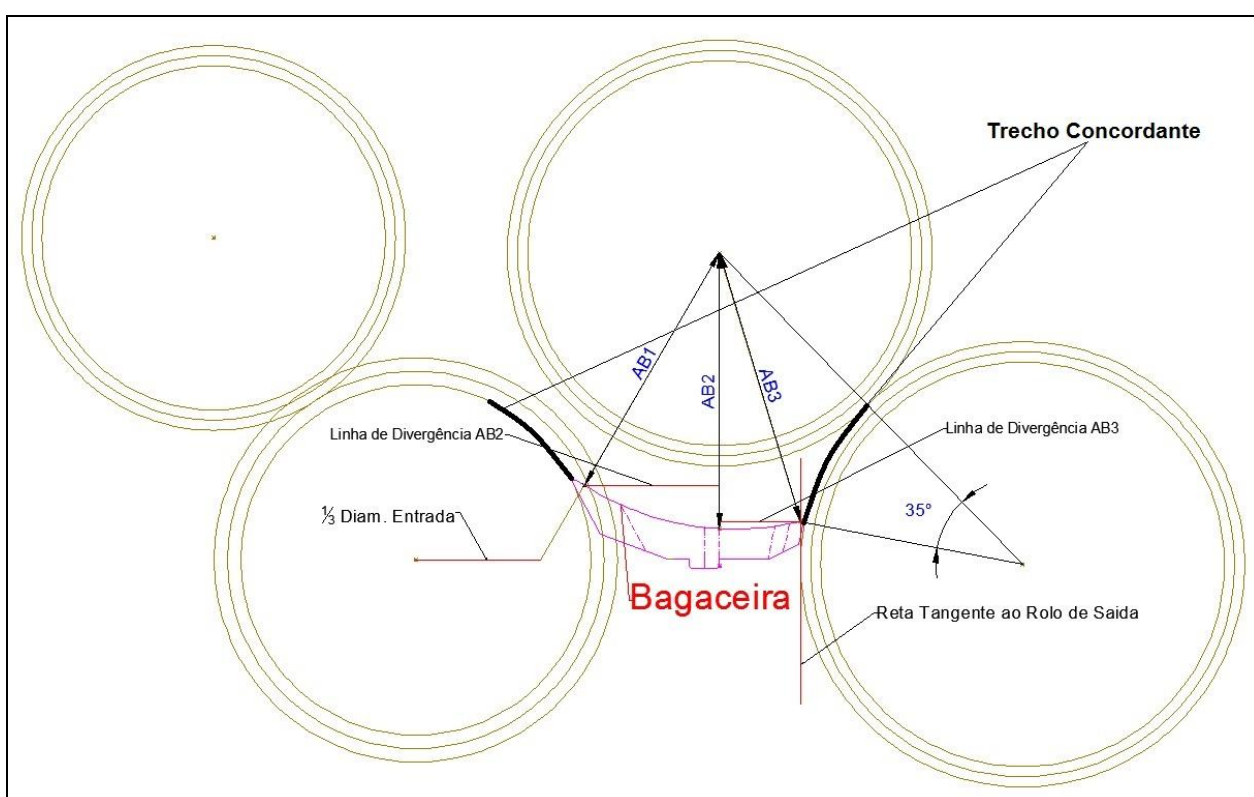


Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

FIGURA 28 – Triangulação do terno com flange e bagaceira.

2.4.5 Cálculos de posicionamento da bagaceira

Para calcular a posição da bagaceira em trabalho é necessário definir as linhas guias, para as medidas de abertura da bagaceira que são abreviadas em AB1, AB2 E AB3. As definições sobre essas posições relativas foram aperfeiçoadas por vários pesquisadores de moenda, sendo que em Hugot (1977) nas paginas 244, 245 e 246, cita vários autores e também faz contribuições. Os conceitos a seguir estão de acordo com Delfini (2014) que também se referenciou nestes trabalhos anteriores, quando ainda na Copersucar, para ajudar a consolidar as definições usadas hoje.



Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

FIGURA 29 – Traçado da bagaceira.

À distância AB1 é traçada seguindo uma reta que sai do centro do rolo superior e coincide uma linha que inicia no centro do rolo de entrada e tem comprimento de 1/3 do diâmetro deste, traçada na horizontal. Já o AB2 segue uma linha que sai do centro do rolo superior e desce na vertical. Por último o AB3 que novamente sai do centro do rolo superior até intersectar uma linha que tangencia o diâmetro externo do rolo de saída.

Para calcular os valores AB2 e AB3, deve-se seguir uma divergência de 6% no comprimento de linhas horizontais, que definem a distância entre o AB1, AB2 e AB3,

indicadas na Figura 29. Chama-se o comprimento entre, AB2 e AB1 de B_x e para AB2 e AB3 de B_y .

2.4.5.1 Medidas de regulagem da bagaceira

Para achar B_x devemos primeiramente achar a distancia na horizontal entre centros do rolo de entrada e superior (Re'), de acordo com Delfini (2014) temos:

$$Re' = \sqrt{(CC' \text{ sup/entr})^2 - (H + d)} \quad (41)$$

sendo (d) o deslocamento dos rolo superior, geralmente para calculo este valor e fixado em 12 mm, e (H) que é a distancia vertical entre o centro do rolo superior com o centro dos rolos inferiores.

Podemos definir agora a equação para B_x , temos:

$$B_x = \frac{AB1 \times [Re' - (1/3 D_p \text{ entr})]}{\sqrt{(H + d)^2 + (1/3 D_p \text{ entr})^2}} \quad (42)$$

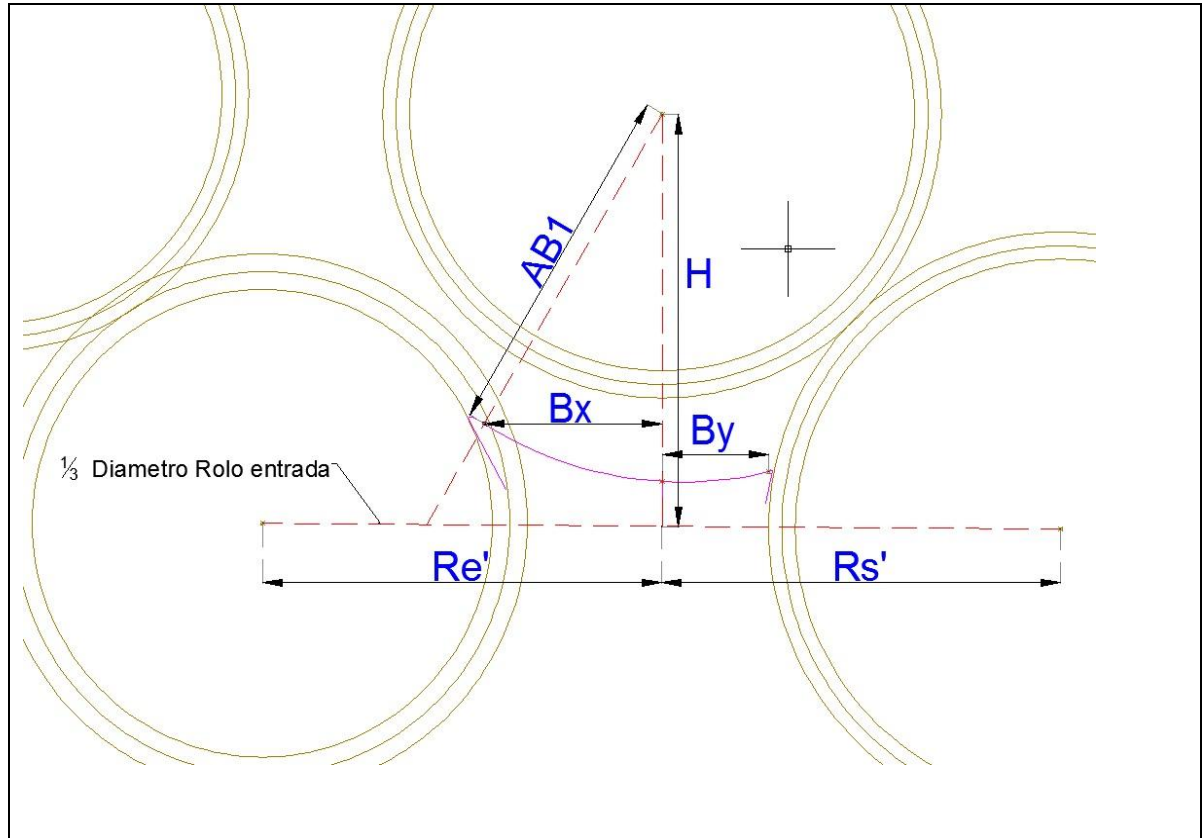
No calculo B_y será necessário calcular a distancia na horizontal entre centros do rolo de saída e superior (Rs'), tem-se:

$$Rs' = \sqrt{(CC' \text{ sup/said})^2 - (H + d)^2} \quad (43)$$

Para B_y tem-se a seguinte equação:

$$B_y = Rs' - R_{ex \text{ said}} \quad (44)$$

onde ($R_{ex \text{ said}}$) e referente ao valor do raio do rolo de saída considerando o diâmetro externo.



Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

FIGURA 30 – Detalhes para calculo do Bx e By.

- Cálculo do comprimento AB1:

$$AB1 = Rm_{sup} + (2 \times E') \quad (45)$$

- Cálculo do comprimento AB2:

$$AB2 = Rm_{sup} + 6\% Bx + (2 \times E') \quad (46)$$

- Cálculo do comprimento AB3:

$$AB3 = Rm_{sup} + 6\% By + [6\% Bx + (2 \times E')] \quad (47)$$

Obs.: O valor (Rm_{sup}) refere-se ao raio do diâmetro primitivo rolo superior.

Este traçado foi definido considerando que o ponto AB3 deve formar, com a linha que liga o rolo de saída com superior, um ângulo menor que 35° , pois isto define um trecho mais concordante para a cana que passa no rolo de saída.

Nota-se, de acordo com a figura 29, que quanto maior o ângulo, maior será a medida AB3 e mais abaixo a bagaceira irá se localizar isso gera um caminho mais longo para a cana percorrer sobre rolo de saída, podendo causar dificuldade de alimentação neste terno. Observa-se também que, como o caldo só é extraído nas aberturas, esses caminhos extras geram perda energética no terno.

Pelo mesmo motivo o AB1 parte da linha de $1/3$ do diâmetro de entrada, pois se ela fosse maior a bagaceira também iria descer, e se fosse menor as aberturas diminuiriam e dificultariam a passagem da cana.

3 ESTUDO DE CASO

A fim de mostrar o uso prático dos conceitos vistos até agora, foi feito um exercício de dimensionamento de uma moenda com bitola de (37" x 78") do 1º ao 6º terno, sendo esta uma referência para a medida ($H = 720$ mm) do castelo, que consiste na distancia vertical entre o centro do rolo superior com o centro dos rolos inferiores. Foi informado também que a usina produtora de etanol irá realizar a sua 2º safra de operação.

O acionamento desta moenda é feita por uma turbina a vapor, acoplado a um sistema de redutores, que rotaciona o rolo superior, e simultaneamente através de engrenagens ($i = 1$), aciona os rolos inferiores. Já o rolo de pressão é acionado pelo rolo superior por engrenagem, sendo que a engrenagem do rolo superior possui o numero de dentes de $Z = 19$ e a do rolo de pressão tem o numero de dentes de $Z = 15$. A rotação nominal da moenda foi estabelecida em 7,65 rpm devido as características da turbina.

As premissas sobre a matéria prima (cana de açúcar) oscilam dependendo da região de cultivo, neste caso o cliente, através de análises, informou que a fibra média da cana é de 13,7% e que a usina precisa moer 588 toneladas de cana por hora para atingir sua meta.

3.1 Definição dos diâmetros dos rolos

Como citado no tópico 2.3.1 o diâmetro dos rolos da moenda variam de acordo com o desgaste da camisa, sendo que para a moenda de bitola (37" x 78") as camisas dos rolos de saída são fundidas e usinadas com o diâmetro de 1030 mm. A bitola da moenda serve como referência para a fabricação dos castelos, nos cálculos a medida do comprimento da camisa e de 78 polegadas que equivale a 1981,2 mm.

Já os frisos a prática usual e que os mesmos sejam maiores nos primeiros ternos para facilitar a alimentação e menores nos últimos para reduzir a umidade do bagaço. Em relação às medidas informadas, tanto das camisas de saída como das dimensões dos frisos, segue-se o padrão criado pela Coopersucar, que no passado verificou que os ângulos de 35° e 45° eram os que apresentavam melhor área de contato levando em conta a fragilidade do flanco do friso.

Abaixo temos a tabela com os valores escolhidos para refrisamento pela empresa produtora de etanol, o revezamento de rolos foi aplicado, então a camisa que antes trabalhou como saída foi para superior com diâmetro rebaixado e a camisa que antes trabalhou como superior foi para entrada com diâmetro rebaixado.

QUADRO 3 – Valores dimensionais dos rolos e frisos da moenda.

Ternos	DIÂMETRO EXTERNO ROLOS (mm)				FRISOS			
	Pressão (Dp)	Entrada (De)	Superior (Dsup)	Saída (Ds)	Passo (pol.) x Ângulo (grau) x Altura (mm)			
					Pressão	Entrada	Superior	Saída
1°	890	945	985	1.030	2"x45°x47	2"x35°x62	2"x45°x47	2"x45°x47
2°	870	940	985	1.030	2"x45°x47	2"x35°x62	2"x45°x47	2"x45°x47
3°	870	940	980	1.030	1½"x45°x34	1½"x35°x42	1½"x45°x34	1½"x45°x34
4°	870	935	980	1.030	1½"x45°x34	1½"x35°x42	1½"x45°x34	1½"x45°x34
5°	860	935	985	1.030	1½"x45°x34	1½"x35°x42	1½"x45°x34	1½"x45°x34
6°	860	940	985	1.030	1½"x45°x34	1½"x35°x42	1½"x45°x34	1½"x45°x34

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Na sequência foi feito o cálculo do diâmetro primitivo (Dp) dos rolos de saída e superior, para isto vamos aplicar os conceitos do tópico 2.4.4 juntamente com os valores da tabela 3, na equação 36, assim temos:

QUADRO 4 – Diâmetro primitivo dos rolos superiores e de saída.

Ternos	DIÂMETRO PRIMITIVO ($D_p = D_e - G$)			
	SUPERIOR		SAÍDA	
1°	$D_p = 985 - 47$	938 mm	$D_p = 1030 - 47$	983 mm
2°	$D_p = 985 - 47$	938 mm	$D_p = 1030 - 47$	983 mm
3°	$D_p = 980 - 34$	946 mm	$D_p = 1030 - 34$	996 mm
4°	$D_p = 980 - 34$	946 mm	$D_p = 1030 - 34$	996 mm
5°	$D_p = 985 - 34$	951 mm	$D_p = 1030 - 34$	996 mm
6°	$D_p = 985 - 34$	951 mm	$D_p = 1030 - 34$	996 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Com os diâmetros primitivos definidos, o próximo passo é calcular o diâmetro médio entre os rolos superior e de saída, para isto usa-se a seguinte equação:

$$D_{m_{sup/said}} = (D_{m_{superior}} + D_{m_{saida}})/2 \quad (48)$$

QUADRO 5 – Diâmetro médio entre os rolos superiores e de saída.

Ternos	DIÂMETRO MÉDIO	
1°	$D_{m_{sup/said}} = (938 + 983)/2$	960,5 mm
2°	$D_{m_{sup/said}} = (938 + 983)/2$	960,5 mm
3°	$D_{m_{sup/said}} = (946 + 996)/2$	971,0 mm
4°	$D_{m_{sup/said}} = (946 + 996)/2$	971,0 mm
5°	$D_{m_{sup/said}} = (951 + 996)/2$	973,5 mm
6°	$D_{m_{sup/said}} = (951 + 996)/2$	973,5 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

3.2 Definição das aberturas da moenda

Com os diâmetros médios definidos o próximo passo é calcular a velocidade periférica média dos rolos, lembrando que para esta equação o valor do diâmetro médio deve ser inserido em metros, então temos que:

$$V_m = \pi \times Dm_{sup/said} \times n \quad (49)$$

Os rolos de moenda são acionados por engrenagens com relação de transmissão igual a 1, isto implica que, a rotação para os rolos superior e saída são iguais ($n = 7,65$ rpm) usando a equação 45 temos:

QUADRO 6 – Velocidade periférica média dos rolos superiores e de saída.

Ternos	VELOCIDADE PERIFÉRICA (m/min)	
1°	$V_m = \pi \times 0,9605 \times 7,65$	23,08 m/min
2°	$V_m = \pi \times 0,9605 \times 7,65$	23,08 m/min
3°	$V_m = \pi \times 0,9710 \times 7,65$	23,34 m/min
4°	$V_m = \pi \times 0,9710 \times 7,65$	23,34 m/min
5°	$V_m = \pi \times 0,9735 \times 7,65$	23,40 m/min
6°	$V_m = \pi \times 0,9735 \times 7,65$	23,40 m/min

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Outro conceito importante é que os ternos de moenda são dimensionados e montados para liberar o bagaço com uma determinada fibra, levando-se em conta os valores de compactação e reabsorção, como citado no tópico 2.4.2, assim fazendo-se uma progressão aritmética para seis ternos temos:

- Fibra do bagaço do 1° Terno = 30%
- Fibra do bagaço do 2° Terno = 34%
- Fibra do bagaço do 3° Terno = 38%
- Fibra do bagaço do 4° Terno = 42%
- Fibra do bagaço do 5° Terno = 46%
- Fibra do bagaço do 6° Terno = 50%

3.2.1 Abertura de saída (S') em trabalho

Após levantar as informações citadas acima podemos calcular a abertura de saída (S'), localizada entre o rolo superior e de saída, para cada terno. Deve-se considerar o rolo

superior deslocado, ou seja, o terno irá atingir a medida (S') calculada somente quando o bagaço empurrar o rolo superior para cima.

Esta abertura irá definir a capacidade volumétrica do terno, para o calculo usaremos a equação 33, lembrando que o comprimento da camisa (L) deve ser inserido em metros.

1° Terno:

$$S' = \frac{9,5 \times Q_c \times F_c}{V_m \times L \times F_b} \Rightarrow S' = \frac{9,5 \times 588 \times 13,7}{23,08 \times 1,9812 \times 30} \Rightarrow S' = 55,79 \text{ mm} \quad (50)$$

2° Terno:

$$S' = \frac{9,5 \times Q_c \times F_c}{V_m \times L \times F_b} \Rightarrow S' = \frac{9,5 \times 588 \times 13,7}{23,08 \times 1,9812 \times 34} \Rightarrow S' = 49,22 \text{ mm} \quad (51)$$

3° Terno:

$$S' = \frac{9,5 \times Q_c \times F_c}{V_m \times L \times F_b} \Rightarrow S' = \frac{9,5 \times 588 \times 13,7}{23,34 \times 1,9812 \times 38} \Rightarrow S' = 43,55 \text{ mm} \quad (52)$$

4° Terno:

$$S' = \frac{9,5 \times Q_c \times F_c}{V_m \times L \times F_b} \Rightarrow S' = \frac{9,5 \times 588 \times 13,7}{23,34 \times 1,9812 \times 42} \Rightarrow S' = 39,40 \text{ mm} \quad (53)$$

5° Terno:

$$S' = \frac{9,5 \times Q_c \times F_c}{V_m \times L \times F_b} \Rightarrow S' = \frac{9,5 \times 588 \times 13,7}{23,40 \times 1,9812 \times 46} \Rightarrow S' = 35,89 \text{ mm} \quad (54)$$

6° Terno:

$$S' = \frac{9,5 \times Q_c \times F_c}{V_m \times L \times F_b} \Rightarrow S' = \frac{9,5 \times 588 \times 13,7}{23,40 \times 1,9812 \times 50} \Rightarrow S' = 33,02 \text{ mm} \quad (55)$$

3.2.2 Abertura de entrada (E') e pressão (P') em trabalho

Para calcular as aberturas entre os rolos (superior e entrada) e (superior e pressão) foi usado às relações das tabelas 1 e 2 do tópico 2.4.3 e as equações 34 e 35. Como esta moenda possui seis ternos será usado no 5° e 6° terno um valor médio das relações indicadas.

Aberturas 1° terno:

$$E' = 1,8 \times 55,79 \Rightarrow E' = 100,42 \text{ mm} \quad (56)$$

$$P' = 5,0 \times 55,79 \Rightarrow P' = 278,95 \text{ mm} \quad (57)$$

Aberturas 2° terno:

$$E' = 1,8 \times 49,22 \Rightarrow E' = 88,60 \text{ mm} \quad (58)$$

$$P' = 5,0 \times 49,22 \Rightarrow P' = 246,10 \text{ mm} \quad (59)$$

Aberturas 3° terno:

$$E' = 1,8 \times 43,55 \Rightarrow E' = 78,39 \text{ mm} \quad (60)$$

$$P' = 5,0 \times 43,55 \Rightarrow P' = 217,75 \text{ mm} \quad (61)$$

Aberturas 4° terno:

$$E' = 1,8 \times 39,40 \Rightarrow E' = 70,92 \text{ mm} \quad (62)$$

$$P' = 5,0 \times 39,40 \Rightarrow P' = 197,00 \text{ mm} \quad (63)$$

Aberturas 5° terno:

$$E' = 1,9 \times 35,89 \Rightarrow E' = 68,19 \text{ mm} \quad (64)$$

$$P' = 5,0 \times 35,89 \Rightarrow P' = 179,45 \text{ mm} \quad (65)$$

Aberturas 6° terno:

$$E' = 2,0 \times 33,02 \Rightarrow E' = 66,04 \text{ mm} \quad (66)$$

$$P' = 5,0 \times 33,02 \Rightarrow P' = 165,10 \text{ mm} \quad (67)$$

3.2.3 Distância entre os centros dos rolos

Para achar as distâncias de centro a centro dos rolos, sempre é considerado o rolo superior como referência.

Centro a centro do rolo superior com o rolo de saída:

Neste caso usa-se os valores já calculados no quadro 4 e a equação 37 temos então:

QUADRO 7 – Distância entre centros dos rolos superiores e de saída.

Ternos	Centro a Centro Superior/Saída	
1°	CC'sup/said = 960,5 + 55,79	1.016,29 mm
2°	CC'sup/said = 960,5 + 49,22	1.009,72 mm
3°	CC'sup/said = 971,0 + 43,55	1.014,55 mm
4°	CC'sup/said = 971,0 + 39,40	1.010,40 mm
5°	CC'sup/said = 973,5 + 35,89	1.009,39 mm
6°	CC'sup/said = 973,5 + 33,02	1.006,52 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Centro a centro do rolo superior com o rolo de entrada:

Para calcular a distancia entre centros, primeiro será calculado o diâmetro primitivo e médio entre os rolos, temos:

QUADRO 8 – Diâmetro primitivo dos rolos de entrada e de pressão.

Ternos	DIÂMETRO PRIMITIVO ($D_p = D_e - G$)			
	ENTRADA		PRESSÃO	
1°	$D_p = 945 - 62$	883 mm	$D_p = 890 - 47$	843 mm
2°	$D_p = 940 - 62$	878 mm	$D_p = 870 - 47$	823 mm
3°	$D_p = 940 - 42$	898 mm	$D_p = 870 - 34$	836 mm
4°	$D_p = 935 - 42$	893 mm	$D_p = 870 - 34$	836 mm
5°	$D_p = 935 - 42$	893 mm	$D_p = 860 - 34$	826 mm
6°	$D_p = 940 - 42$	898 mm	$D_p = 860 - 34$	826 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Para achar o diâmetro médio entre rolo de superior e de entrada usamos as informações do quadro 4 e 7 na seguinte equação:

$$Dm_{sup/entr} = (Dm_{superior} + Dm_{entrada})/2 \quad (68)$$

QUADRO 9 – Diâmetro médio entre os rolos superior e de entrada.

Ternos	DIÂMETRO MÉDIO	
1°	$Dm_{sup/entr} = (938 + 883)/2$	910,5 mm
2°	$Dm_{sup/said} = (938 + 878)/2$	908,0 mm
3°	$Dm_{sup/said} = (946 + 898)/2$	922,0 mm
4°	$Dm_{sup/said} = (946 + 893)/2$	919,5 mm
5°	$Dm_{sup/said} = (951 + 893)/2$	922,0 mm
6°	$Dm_{sup/said} = (951 + 898)/2$	924,5 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Com os dados obtidos anteriormente calcula-se a distância de centro a centro do rolo superior com o rolo de entrada com a equação 38.

QUADRO 10 – Distância entre centros dos rolos superiores e entrada.

Ternos	Centro a Centro Superior/Entrada	
1°	$CC'_{sup/entr} = 910,5 + 100,42$	1.010,92 mm
2°	$CC'_{sup/entr} = 908,0 + 88,60$	996,60 mm
3°	$CC'_{sup/entr} = 922,0 + 78,39$	1.000,39 mm
4°	$CC'_{sup/entr} = 919,5 + 70,92$	990,42 mm
5°	$CC'_{sup/entr} = 922,0 + 68,19$	990,19 mm
6°	$CC'_{sup/entr} = 924,5 + 66,04$	990,54 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Centro a centro do rolo superior com o rolo de pressão:

Com base nos valores de diâmetro primitivo do quadro 7 e 4 temos os seguintes valores de diâmetro médio.

QUADRO 11 – Diâmetro médio entre os rolos superior e de pressão.

Ternos	DIÂMETRO MÉDIO	
1°	$Dm_{sup/press} = (938 + 843)/2$	890,5 mm
2°	$Dm_{sup/press} = (938 + 823)/2$	880,5 mm
3°	$Dm_{sup/press} = (946 + 836)/2$	891,0 mm
4°	$Dm_{sup/press} = (946 + 836)/2$	891,0 mm
5°	$Dm_{sup/press} = (951 + 826)/2$	888,5 mm
6°	$Dm_{sup/press} = (951 + 826)/2$	888,5 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Para calcular a distância de centro a centro do rolo superior e de pressão usa-se a equação 39.

QUADRO 12 – Distância entre centros dos rolos superiores e de pressão.

Ternos	Centro a Centro Superior/Pressão	
1°	$CC'_{sup/press} = 890,5 + 278,95$	1.169,45 mm
2°	$CC'_{sup/press} = 880,5 + 246,10$	1.126,60 mm
3°	$CC'_{sup/press} = 891,0 + 217,15$	1.108,15 mm
4°	$CC'_{sup/press} = 891,0 + 197,00$	1.088,00 mm
5°	$CC'_{sup/press} = 888,5 + 179,45$	1.067,95 mm
6°	$CC'_{sup/press} = 888,5 + 165,10$	1.053,60 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Centro a centro do rolo entrada com o rolo de pressão:

Foi necessário para calcular a distância entre centros do rolo de entrada e de pressão, usar os conceitos do tópico 2.4.4 e os valores do quadro 3 na equação 40, onde inserimos do diâmetro externo de entrada e de pressão e a altura do friso do rolo de pressão.

QUADRO 13 – Distância entre centros dos rolos de entrada e de pressão.

Ternos	Centro a Centro Entrada/Pressão	
1°	$CC' \text{ entr/press} = [(945 + 890)/2] - 47 + 15$	885,5 mm
2°	$CC' \text{ entr/press} = [(940 + 870)/2] - 47 + 15$	873,0 mm
3°	$CC' \text{ entr/press} = [(940 + 870)/2] - 34 + 15$	886,0 mm
4°	$CC' \text{ entr/press} = [(935 + 870)/2] - 34 + 15$	883,5 mm
5°	$CC' \text{ entr/press} = [(935 + 860)/2] - 34 + 15$	878,5 mm
6°	$CC' \text{ entr/press} = [(940 + 860)/2] - 34 + 15$	881,0 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

3.3 Traçado da posição da bagaceira

Nesta parte do trabalho serão efetuados os cálculos que possibilitam posicionar a bagaceira entre o rolo de entrada e saída. No tópico 2.4.5 foi exposta as equações necessárias para esta tarefa. Como visto anteriormente é preciso calcular três medidas AB1, AB2 e AB3, com base nas equações 41, 42 e 43 e para o valor de Rm (raio) usaremos a metade do diâmetro primitivo do rolo superior (ver quadro 4), temos:

Definição do AB1:

QUADRO 14 – Medida AB1 para ajuste da bagaceira.

Ternos	BAGACEIRA (AB1)	
1°	$AB1 = 469 + (2 \times 100,42)$	669,84 mm
2°	$AB1 = 469 + (2 \times 88,60)$	646,20 mm
3°	$AB1 = 473 + (2 \times 78,39)$	629,78 mm
4°	$AB1 = 473 + (2 \times 70,92)$	614,84 mm
5°	$AB1 = 475,5 + (2 \times 68,19)$	611,88 mm
6°	$AB1 = 475,5 + (2 \times 66,04)$	607,58 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Definição do AB2:

Para definir AB2 calcula-se primeiro Re' usando a equação 41, onde consideramos tanto o (H) como (d), ambos definidos pela bitola do castelo, temos então:

QUADRO 15 – Valores para (Re') dos seis ternos.

Ternos	CALCULO (Re')	
1°	$Re' = \sqrt{(1.010,92)^2 - (720+12)^2}$	697,23 mm
2°	$Re' = \sqrt{(996,6)^2 - (720+12)^2}$	676,30 mm
3°	$Re' = \sqrt{(1.000,39)^2 - (720+12)^2}$	681,88 mm
4°	$Re' = \sqrt{(990,42)^2 - (720+12)^2}$	667,16 mm
5°	$Re' = \sqrt{(990,19)^2 - (720+12)^2}$	666,82 mm
6°	$Re' = \sqrt{(990,54)^2 - (720+12)^2}$	667,34 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Próximo passo deve-se calcular o valor de Bx pela equação 42, onde além de usar AB1 também usamos o valor de (Re'). No quadro 8 temos os valores do diâmetro primitivo do rolo de entrada.

QUADRO 16 – Valores para (Bx) dos seis ternos.

Ternos	CALCULO (Bx)	
1°	$Bx = \frac{669,84 \times [697,23 - (1/3 \times 883)]}{\sqrt{(720+12)^2 + [697,23 - (1/3 \times 883)]^2}}$	323,0 mm
2°	$Bx = \frac{646,20 \times [676,30 - (1/3 \times 878)]}{\sqrt{(720+12)^2 + [676,30 - (1/3 \times 878)]^2}}$	300,0 mm
3°	$Bx = \frac{629,78 \times [681,88 - (1/3 \times 898)]}{\sqrt{(720+12)^2 + [681,88 - (1/3 \times 898)]^2}}$	291,7 mm
4°	$Bx = \frac{614,84 \times [667,16 - (1/3 \times 893)]}{\sqrt{(720+12)^2 + [667,16 - (1/3 \times 893)]^2}}$	277,1 mm
5°	$Bx = \frac{611,88 \times [666,82 - (1/3 \times 893)]}{\sqrt{(720+12)^2 + [666,82 - (1/3 \times 893)]^2}}$	275,5 mm
6°	$Bx = \frac{607,58 \times [667,34 - (1/3 \times 898)]}{\sqrt{(720+12)^2 + [667,34 - (1/3 \times 898)]^2}}$	272,9 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Para achar AB2 se usa a equação 46, assim temos:

QUADRO 17 – Medida AB2 para ajuste da bagaceira.

Ternos	BAGACEIRA (AB2)	
1°	$AB2 = 469,0 + (0,06 \times 323,0) + (2 \times 100,42)$	689,22 mm
2°	$AB2 = 469,0 + (0,06 \times 300,0) + (2 \times 88,60)$	664,20 mm
3°	$AB2 = 473,0 + (0,06 \times 291,7) + (2 \times 78,39)$	647,28 mm
4°	$AB2 = 473,0 + (0,06 \times 277,1) + (2 \times 70,92)$	631,47 mm
5°	$AB2 = 475,5 + (0,06 \times 275,5) + (2 \times 68,19)$	628,41 mm
6°	$AB2 = 475,5 + (0,06 \times 272,9) + (2 \times 66,04)$	623,95 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Definição do AB3:

Para calcular By deve-se achar o valor de Rs' usando a equação 43, onde usa-se os valores de centro a centro do rolo superior com o de saída do quadro 7, tem-se :

QUADRO 18 – Valores para (Rs') dos seis ternos.

Ternos	CALCULO (Rs')	
1°	$Rs' = \sqrt{(1.016,29)^2 - (720 + 12)^2}$	705,00 mm
2°	$Rs' = \sqrt{(1.009,72)^2 - (720 + 12)^2}$	695,50 mm
3°	$Rs' = \sqrt{(1.014,55)^2 - (720 + 12)^2}$	702,49 mm
4°	$Rs' = \sqrt{(1.010,40)^2 - (720 + 12)^2}$	696,50 mm
5°	$Rs' = \sqrt{(1.009,39)^2 - (720 + 12)^2}$	695,00 mm
6°	$Rs' = \sqrt{(1.006,52)^2 - (720 + 12)^2}$	690,80 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Agora se pode calcular By usando a equação 44 e também o raio do diâmetro externo do rolo de saída (ver quadro 3).

QUADRO 19 – Valores para (By) dos seis ternos.

Ternos	CALCULO (By)	
1°	$By = 705,0 - 515$	190,00 mm
2°	$By = 695,5 - 515$	180,50 mm
3°	$By = 702,5 - 515$	187,50 mm
4°	$By = 696,5 - 515$	181,50 mm
5°	$By = 695,0 - 515$	180,00 mm
6°	$By = 690,8 - 515$	175,80 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Com a equação 47 e usando os valores de (Bx e By) já se pode calcular a medida AB3, para o ajuste final da bagaceira.

QUADRO 20 – Medida AB3 para ajuste da bagaceira.

Ternos	BAGACEIRA (AB3)	
1°	$AB3 = 469,0 + (0,06 \times 190,0) + (0,06 \times 323,0) + (2 \times 100,42)$	700,62 mm
2°	$AB3 = 469,0 + (0,06 \times 180,5) + (0,06 \times 300,0) + (2 \times 88,60)$	675,00 mm
3°	$AB3 = 473,0 + (0,06 \times 187,5) + (0,06 \times 291,7) + (2 \times 78,39)$	658,57 mm
4°	$AB3 = 473,0 + (0,06 \times 181,5) + (0,06 \times 277,1) + (2 \times 70,92)$	642,36 mm
5°	$AB3 = 475,5 + (0,06 \times 180,0) + (0,06 \times 275,5) + (2 \times 68,19)$	639,22 mm
6°	$AB3 = 475,5 + (0,06 \times 175,8) + (0,06 \times 272,9) + (2 \times 66,04)$	634,50 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

3.4 Montagem da calha Donnelly

A calha Donnelly é parte fundamental da alimentação dos ternos, fazer sua montagem corretamente tem um grande efeito sobre a capacidade de moagem da moenda.

Como já dito antes, sempre que se realiza a regulagem das tampas da calha Donnelly usa-se como ponto de partida o ângulo de $57,5^\circ$, depois é feita uma avaliação, caso seja necessário pode se usar a teoria de ângulo máximo.

Para esta moenda será realizado o calculo com o ângulo padrão de $57,5^\circ$, de acordo com o tópico 2.4.1, ver também a figura 21. Obs.: os cálculos usarão o raio do diâmetro primitivo do rolo de pressão e superior.

QUADRO 21 – Medida (a e b) para ajuste da calha Donnelly.

Ternos	$a = R_{pr} \times \cos 57,5^\circ$	a	$b = R_{sup} \times \cos 57,5^\circ$	b
1°	$a = 421,5 \times \cos 57,5^\circ$	226,47 mm	$b = 469,0 \times \cos 57,5^\circ$	252,00 mm
2°	$a = 411,5 \times \cos 57,5^\circ$	221,10 mm	$b = 469,0 \times \cos 57,5^\circ$	252,00 mm
3°	$a = 418,0 \times \cos 57,5^\circ$	224,60 mm	$b = 473,0 \times \cos 57,5^\circ$	254,14 mm
4°	$a = 418,0 \times \cos 57,5^\circ$	224,60 mm	$b = 473,0 \times \cos 57,5^\circ$	254,14 mm
5°	$a = 413,0 \times \cos 57,5^\circ$	221,90 mm	$b = 475,5 \times \cos 57,5^\circ$	255,49 mm
6°	$a = 413,0 \times \cos 57,5^\circ$	221,90 mm	$b = 475,5 \times \cos 57,5^\circ$	255,49 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

Com os valores de (a e b) definidos pode-se calcular a medida C que defini a abertura por onde a cana ou bagaço passa na calha Donnelly.

QUADRO 22 – Medida C para ajuste da calha Donnelly.

Ternos	$C = CC_{sup}/pres - (a + b)$	C
1°	$C = 1169,45 - (226,47 + 252,00)$	691,00 mm
2°	$C = 1126,60 - (221,10 + 252,00)$	653,50 mm
3°	$C = 1108,15 - (224,60 + 254,14)$	629,41 mm
4°	$C = 1088,00 - (224,60 + 254,14)$	609,26 mm
5°	$C = 1,067,95 - (221,90 + 255,49)$	590,56 mm
6°	$C = 1053,60 - (221,90 + 255,49)$	576,21 mm

Fonte: Elaborada pelo autor (2015).

3.5 Verificação da densidade necessária

Para finalizar o cálculo de regulagem da moenda, deve-se também verificar se a densidade da cana que o 1° terno precisa para atingir a sua capacidade volumétrica atende valores aceitáveis, como citado por Delfini tem-se que valores de 0,50 até 0,55 ton/m³ são normais neste caso.

Usa-se a equação 24 para estipular a velocidade vertical média entre os rolos superiores e de pressão, e depois a equação 25 para verificar a densidade necessária, de acordo com os conceitos passados no tópico 2.4.1, temos então:

Superior:

$$V_v = \pi \times 0,938 \times 7,65 \times \cos 57,5^\circ \Rightarrow V_v = 12,11 \text{ m/min} \quad (69)$$

Pressão:

$$V_v = \pi \times 0,843 \times 7,65 \times \cos 57,5^\circ \times (19/15) \Rightarrow V_v = 13,79 \text{ m/min} \quad (70)$$

No cálculo de densidade necessária devemos considerar a média entre a velocidade dos rolos superiores e de pressão (V_{vm}), pois como já foi visto os dois possuem diâmetros diferentes.

Em moendas acionada por rodetes a rotação as velocidades periféricas variam de acordo com os diâmetros dos rolos, no caso do rolo de pressão a relação de transmissão (19/15) eleva consideravelmente a velocidade do mesmo, isto também ajuda na alimentação do terno.

$$V_{vm} = (12,11 + 13,79)/2 \Rightarrow V_{vm} = 12,95 \text{ m/min} \quad (71)$$

E por final temos que, a densidade necessária da cana para alimentar o primeiro terno deve ser de:

$$dc = 588 / (1,9812 \times 0,691 \times 12,95 \times 60) \Rightarrow dc = 0,553 \text{ ton/m}^3 \quad (72)$$

Como o valor esta dentro da faixa normal não há necessidade de fazer alterações, tanto na abertura de Donnelly como nos diâmetros dos rolos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho, além de apresentar os principais componentes de uma moenda, também mostrou como se obtém os valores iniciais para montagem e regulagem da mesma, baseando-se nos conceitos da triangulação.

Foi demonstrado no estudo de caso, como obter os valores de regulagem da posição dos rolos no próprio castelo, definido através de cálculos as aberturas por onde a cana deve passar, calculado as medidas de posição da bagaceira, posicionamento das chapas das calhas Donnelly, e por fim verificado se a densidade de cana necessária para alimentação do 1º terno atingiu valores aceitáveis.

Deve-se lembrar de que existem vários tipos de moendas, cada uma com sua particularidade, mas no geral os cálculos de triangulação são os mesmos para todas, podendo alterar, por exemplo, os cálculos que envolvem acionamento, as relações de abertura ou até a divergência da bagaceira a fim de atingir-se a maior eficiência possível em determinada moenda.

Também vale ressaltar que os cálculos apresentados neste trabalho foram obtidos considerando que a moenda estivesse em operação, ou seja, com o rolo superior deslocado. Este trabalho demonstra os conceitos e cálculos principais da regulagem de moenda, sendo necessário pesquisa mais aprofundada para a análise da moenda em repouso.

No equipamento chamado bagaceira as medidas apresentadas foram as de montagem, para a fundição e usinagem da mesma é realizado um desenho complementar de traçado, auxiliado por computador, em software Cad.

5 REFERÊNCIAS

Betamag Soluções Magnéticas, Fabricante de separadores magnéticos (Eletroímãs). Disponível em: <http://www.betamag.com.br/produtos.php?id=separador-magnetico-suspenso-limpeza-manual>. Acesso em 15/09/2014.

CTC, Centro de Tecnologia Copersucar. Curso de Operação de Moendas. Rev. 0. Piracicaba: Secção de tecnologia de moagem, 1999. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/clamcle/moenda>. Acesso em 11/08/2014.

CTC, Centro de Tecnologia Copersucar. Apostila do Curso de Engenharia Açucareira. 1ª Ed. Piracicaba, 2002.

DELFINI, Paulo. Revisão na Moenda. 14ª SBA – Seminário Brasileiro Agroindustrial, Ribeirão Preto, 2013. Disponível em: http://stab.org.br/seminario_14sba/04_paulo_delfini_30.pdf. Acesso em 13/08/2014.

DELFINI, Paulo. Conceitos Teóricos Fundamentais para a Regulagem das Moendas. Ribeirão Preto, 2014. Disponível em: http://stab.org.br/seminario_14sba/04_paulo_delfini_30.pdf. Acesso em 13/08/2014.

Fundição Moreno, Fabricante de esteiras. Especificação técnica de equipamento para capacidade Esteira de Cana Desfibrada. Disponível em: http://www.moreno.ind.br/fundicao_moreno_produtos.php?produto=9&sub_produto=6. Acesso em 07/09/2014.

HUGOT, Emile. Manual da engenharia açucareira. Vol. 1; Primeira edição em português, Editora: Mestre Jou, 1977.

Payne, H. John. Operações unitárias na Produção de Açúcar. 1ª Ed. NBL Editora, 1990. Disponível em: <http://books.google.com.br/books>. Acesso em 20/08/2014.

Rein, Peter. Cane Sugar Engineering. 1ª Ed. 2007, Pág. 105; Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/140556875/Cane-Sugar-Engineering>. Acesso em 02/09/2014.