

CURSO DE

PASTA MECÂNICA

Oslo Foulkes

**Associação Brasileira Técnica
de Celulose e Papel**

Monte Alegre, julho de 1995

Material didático preparado por: Marcos Antonio Betini
Paulo Eduardo Galatti
Procelpa S/C Ltda.

Colaboração de Industrias Klabin de Papel e Celulose S.A.

ÍNDICE

PARTE 1 - CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE MATÉRIA PRIMA

- Introdução ----- pág. 01
- Matérias-primas fibrosas ----- pág. 01
- Fatores que influenciam a qualidade da pasta celulósica ----- pág. 01
- Fatores físicos ----- pág. 02
- Fatores químicos ----- pág. 03
- Fatores anatômicos ----- pág. 07
- Fatores não-tecnológicos ----- pág. 14
- Preparo da madeira para pasta mecânica ----- pág. 16
- Referências bibliográficas ----- pág. 22

PARTE 2 - CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE DESFIBRAMENTO

- Introdução ----- pág. 23
- Pasta mecânica de desfibrador ----- pág. 24
- Elementos do processo ----- pág. 30
- Teoria do desfibramento com rebolo ----- pág. 32
- Teoria da afiação das pedras desfibradoras ----- pág. 34
- Seleção do padrão de afiação ----- pág. 37
- Controle das variáveis do desfibramento ----- pág. 41
- Controle de qualidade ----- pág. 46

PARTE 3 - CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE DEPURAÇÃO

| | |
|--|---------|
| Introdução ----- | pág. 47 |
| Depuração de Pastas Mecânicas ----- | pág. 48 |
| Constituintes Indesejáveis na Pasta Mecânica ----- | pág. 48 |
| Propriedades Desejáveis no Aceito ----- | pág. 48 |
| Mecanismos de Separação ----- | pág. 48 |
| Propriedades das partículas que afetam a depuração ----- | pág. 48 |
| Parâmetros de Controle ----- | pág. 48 |
| Avaliação da Depuração ----- | pág. 48 |
| Tipos de Depuradores ----- | pág. 48 |

PARTE 4 - CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE REFINAÇÃO

| | |
|--|---------|
| - Introdução ----- | pág. 68 |
| - Resumo da Teoria do Processo de Refinação ----- | pág. 69 |
| - Efeitos da Refinação ----- | pág. 69 |
| - Variáveis no processo de refinação ----- | pág. 72 |
| - Variáveis do sistema ----- | pág. 72 |
| - Variáveis da máquina ----- | pág. 74 |
| - Quadro resumo das variáveis no processo de refinação ----- | pág. 82 |
| - Desgaste dos discos ----- | pág. 83 |
| - Refinação em alta consistência ----- | pág. 85 |
| - Refinação de rejeitos de Pasta Mecânica ----- | pág. 86 |
| - Referências bibliográficas das partes 2, 3 e 4 ----- | pág. 89 |

MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE PASTAS CELULÓSICAS

MATÉRIAS-PRIMAS FIBROSAS

1- INTRODUÇÃO

As fibras usadas na fabricação de pasta celulósica para papel são obtidas, quase que exclusivamente, a partir de matérias-primas vegetais, sendo várias as fibras vegetais usadas na fabricação de pasta celulósica para papel, desde a sua invenção. Inicialmente, foram utilizadas fibras que necessitavam de menor processamento, como, por exemplo, trapos, fibras provenientes de linho e de algodão. O aumento do consumo de papel, ao longo dos anos, levou à procura de novas fontes de fibras vegetais, encontrando-se na madeira uma excelente matéria-prima.

Fibras vegetais

A. Fibras de frutos:

1. pêlos das sementes: algodão
2. pericarpo: coco

B. Fibras das folhas:

- Sisal
- Carnaúba

C. Fibras de Caules:

1. Feixes vasculares de monocotiledôneas: palha de cereais, bagaço de cana, bambus.
2. Fibras liberianas (floema)
 - a. Plantas lenhosas: casca interna de coníferas e folhosas
 - b. Plantas herbáceas (dicotiledôneas): linho, crotalária, juta, rami.
3. Fibras de madeira
 - a. Coníferas: Araucária angustifólia, Pinus, etc.
 - b. Folhosas: eucaliptos, acácia negra, gmelina, etc.

A madeira se apresenta como a principal fonte de matéria-prima, porque proporciona características desejadas ao papel fabricado, sendo disponível em grande quantidade, é facilmente renovável e de exploração econômica.

Em razão da heterogeneidade física das fibras da madeira, o efeito das características da madeira é descrito como um dos fatores mais importantes nas propriedades do papel. É por isso que se torna importante conhecer os fatores inerentes à madeira que afetam a qualidade da pasta celulósica e papel.

Os vários fatores que influenciam a qualidade da celulose podem ser classificados em:

a) Físicos

- densidade básica
- teor de umidade
- porosidade
- higroscopicidade
- poder calorífico
- permeabilidade

b) Químicos

- teores de celulose
- teores de hemiceluloses
- teores de lignina
- teores de extrativos e cinzas

c) Anatômicos

- comprimento da fibra
- largura da fibra
- espessura da parede celular
- teor de lenho primaveril e lenho outonal
- teor de madeira de reação
- teor de madeira de lenho juvenil
- teor de nós

d) Parâmetros não-tecnológicos tais como:

- espécie/procedência
- idade
- ritmo de crescimento
- forma/conicidade

2- FATORES FÍSICOS

2.1- Teor de umidade

É a quantidade de água nas cavidades da madeira ou água de embebição (encontrada no lúmen e dentro da parede celular). O cálculo da umidade é feito com base no peso inicial úmido e no peso final absolutamente seco (peso obtido após secagem em estufa a 105 °C) durante algumas horas.

A madeira quando verde (recém cortada) contém entre 40% a 60% de umidade, mas quando armazenada por longo tempo ela perde umidade para o ar até alcançar o teor de equilíbrio, que está entre 10% a 15%.

2.2- Porosidade

É determinado por espaços vazios presentes na madeira representados pelos canais, vasos, poros e espaçamentos na estrutura submicroscópica.

Numa tora de madeira apenas de 20% a 40% do volume da tora está ocupado pela madeira propriamente dita (a sua substância); o restante do volume é ocupado pelos espaços contendo água, quando a madeira é úmida ou recentemente cortada; ou ar quando a mesma estiver seca.

2.3- Higroscopicidade

É uma propriedade dependente da densidade e porosidade que indica a capacidade da madeira em absorver água. Apresenta importância não só no cozimento (penetração do licor), como também no transporte de madeira por via fluvial.

2.4- Densidade Básica

É definido como a relação entre o peso absolutamente seco e o volume verde da madeira e expressa em gramas por centímetro cúbico.

Para a madeira como um todo (como tora) a densidade básica, da maioria, utilizada na fabricação de celulose, fica compreendida entre 0,3 g/cm³ a 0,5 g/cm³. A madeira de lenho tardio é mais densa que a de lenho inicial.

Considerando que a densidade interfere nas características das fibras, pode-se dizer que as madeiras para fabricação de pastas devem situar-se dentro de um determinado limite de densidade. As madeiras de densidade baixa possuem, geralmente, as fibras mais fracas; por outro lado, as madeiras de densidade muito alta são mais coloridas (possuem maior teor de cerne e resina) ou mais escuras e dependendo do tipo de pasta (mecânica por exemplo) transferem essa propriedade para os respectivos produtos.

2.5- Poder Calorífico

É o calor liberado pela queima de uma unidade de massa, sob pressão constante, permanecendo a água formada no estado de vapor.

| Poder Calorífico | |
|-------------------------|----------------|
| Cavacos | Kcal/Kg |
| Eucalipto | 4.350 |
| Pinus | 4.300 |
| Latifólias mistas | 4.650 |
| | |
| Casca | |
| Araucária | 4.700 |
| Pinus | 5.000 |
| Eucalipto | 4.000 |

2.6- Permeabilidade

Facilidade de penetração de um fluido através da madeira sob a ação de um gradiente de pressão.

3- FATORES QUÍMICOS

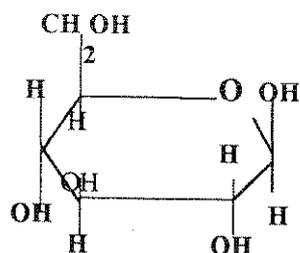
3.1- Celulose da madeira

Nos vegetais superiores a celulose aparece principalmente sob a forma de fibras ao lado de outros componentes fundamentais e acidentais. A presença relativa desses compostos define não só o teor mais também o grau de pureza da celulose numa determinada fibra.

A forma mais pura de celulose é obtida nas fibras do algodão submetido a cuidadoso tratamento de purificação. O material assim obtido serve como CELULOSE-PADRÃO ou referência e apresenta cerca de 99,8% de pureza.

A madeira é a principal e mais abundante fonte industrial de celulose sob a forma de fibras. A celulose quimicamente pura de madeira possui idêntica natureza química da celulose-padrão.

Sob os aspectos de sua origem química, a celulose tem sua constituição baseada na glicose ou mais precisamente no seu isômero β -D(+) glicose (figura 01)



β - D (+) glicose

Figura 01 - Representação mais rigorosa da β - D - (+) - glicose

A celulose é o resultado da união de unidade de β - D - anidroglicose através dos carbonos 1 e 4 dessas unidades.

Quando a celulose-padrão é analisada apresenta 44,44% de carbono, 6,22% de hidrogênio e 49,34% de oxigênio. Esta composição percentual corresponde a fórmula molecular $C_6H_{10}O_5$ cujo peso molecular é 162.

3.1.1- Estrutura Química da Celulose

Estrutura macromolecular

Atualmente é aceita a teoria segundo a qual a celulose se apresenta na forma de cadeias de unidades de anidroglicose formando macromoléculas lineares (figura 02).

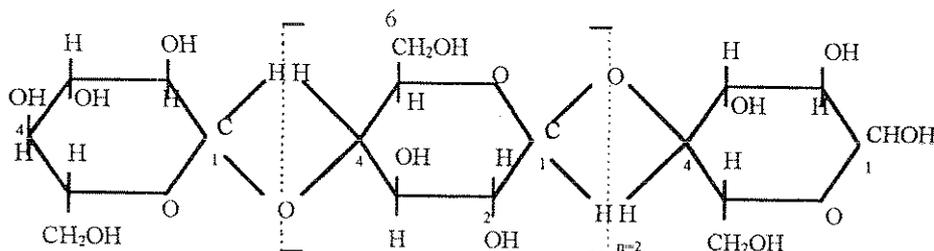


Figura 02 - Representação da cadeia de celulose

Embora todos os tipos de celulose possuam a mesma composição química, tem-se observado consideráveis variações na sua solubilidade, viscosidade e peso molecular. Tal fato é explicado por um número variável de unidades de anidroglicose na cadeia dentro de uma dada amostra de celulose. Assim sendo, toda a amostra é composta de uma mistura de macromoléculas de comprimentos diferentes ou em outras palavras, macromoléculas de diferentes GP (Grau de Polimerização).

3.2- Hemiceluloses da madeira

Compreendem uma mistura de compostos pertencentes a família dos açúcares de baixo peso molecular, intimamente ligados com a própria celulose dentro da estrutura dos tecidos vegetais.

As hemiceluloses são constituídas de várias unidades de açúcares, tais como: Xilose, Manose, Arabinose, Galactose (fig. 03) e ainda de ácidos glucorônico e galactourônico; sua composição varia mesmo dentro de uma mesma espécie.

Embora as hemiceluloses não possuam as mesmas características da celulose e sejam consideradas inferiores, as mesmas exercem significativa influência sobre as propriedades de pastas e papéis produzidos.

Ex: As hemiceluloses reduzem o tempo e o consumo específico de energia, quando as pastas são submetidas ao processo de refinagem.

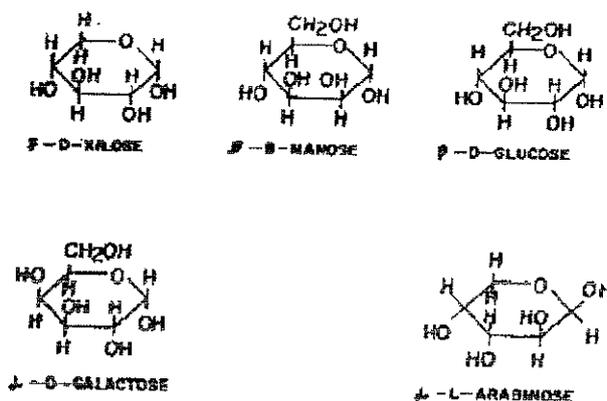


Figura 03 - Unidades monoméricas formadoras de hemiceluloses

3.3- Lignina

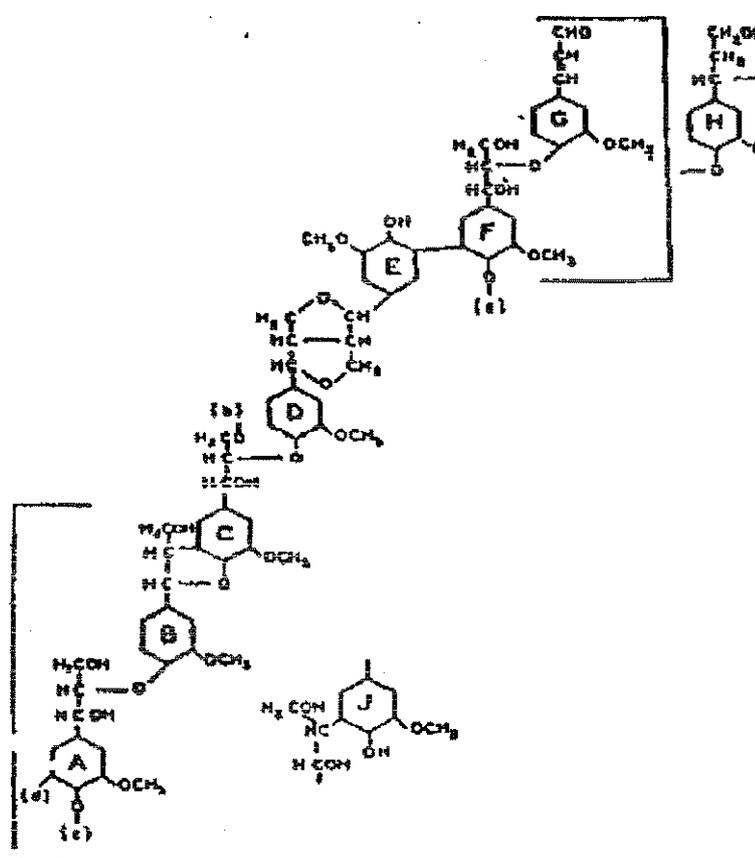
A lignina é o terceiro componente fundamental em importância da madeira, ocorrendo entre 15 e 35% do seu peso.

Localiza-se na lamela média onde é depositada durante a lignificação do tecido vegetal.

A lignina tem sua origem a partir de álcoois derivados do fenil propano que se uniram para a formação do polímero de lignina.

A lignina tem uma coloração amarelada ou levemente marrom e apresenta uma grande tendência de formar grupos corantes, denominados cromóforos, responsáveis pela coloração de pastas e conseqüentemente do papel ; sua massa molecular é de 2000 a 15000, o seu peso e composição variam com as espécies vegetais.

A figura 04 apresenta uma fórmula estrutural da lignina (segundo Adler)



Fórmula estrutural da lignina (segundo Adler)

3.4- Compostos inorgânicos

Os compostos inorgânicos estão presentes na madeira em teores inferiores a 1%. São constituídos, principalmente de sulfatos, fosfatos, oxalatos, carbonatos e silicatos de cálcio, potássio e de magnésio; porém, além dos mencionados, pode-se encontrar um grande número de elementos, em

quantidades muito pequenas. Certos metais como o ferro ou manganês podem causar uma indesejável coloração nas pastas ou prejudicar a eficiência do alveamento.

A maioria dos compostos inorgânicos está combinada com substâncias orgânicas e possui funções fisiológicas, exercendo, assim, papel importante no metabolismo da planta.

3.5- Extrativos

Os extrativos podem ser classificados em vários grupos, de acordo com as suas características estruturais, embora freqüentemente ocorra sobreposição na classificação, devido à natureza multifuncional associada com alguns compostos.

É comum a denominação de resina para uma determinada classe de extrativos. Este termo, no entanto, caracteriza mais a condição física do que designa compostos químicos. Chama-se de resina uma série de compostos diferentes, que inibem a cristalização.

Deste modo, os seguintes compostos podem ser componentes da resina: terpenos, ligninas, estilbenos, flavonóides e outros aromáticos.

Além dessas substâncias, outros compostos orgânicos podem estar presentes nos extrativos, como gorduras, ceras, ácidos graxos, álcoois, esteróides e hidrocarbonetos de elevada massa molecular.

4- FATORES ANATÔMICOS

4.1- Noções de tipologia celular da madeira

As células formadoras do tecido madeireiro apresentam diferenças de forma não só entre as madeiras de espécie distintas, mas também dentro da madeira de uma mesma espécie.

Uma primeira grande diferença que deve ser considerada é se as células são originárias de madeira de espécies de coníferas ou de espécies de folhosas (figura 05).

4.1.1- Células da madeira de coníferas

As principais células das espécies de madeiras de coníferas, responsáveis pela constituição de 90 a 95% de seus tecidos são os **TRAQUEÍDEOS**.

São células tubulares, estreitas, com extremidades fechadas de forma geralmente pontiagudas.

As suas paredes podem ser finas ou espessas de acordo com a coincidência de sua formação em relação a um determinado período de crescimento da árvore no ano.

No período que a árvore está submetida a um intenso ritmo de crescimento, geralmente no período **primavera/verão**, os traqueídeos desenvolvem com grande diâmetro e grande lúmen.

Ao final desse período e adentrando no período **outono/inverno**, os traqueídeos passam a desenvolver-se com pequeno diâmetro e pequeno lúmen (fig. 06)

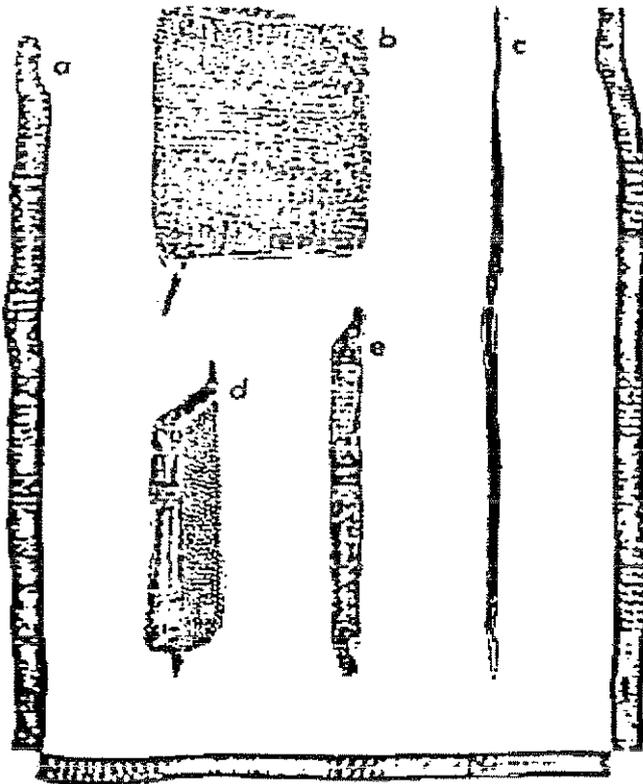
Com isso há formação anual de duas regiões concêntricas de tecido madeireiro, a maioria das vezes distinguíveis a olho nu ao examinar-se o corte transversal do tronco de uma árvore de conífera.

A região mais clara corresponde ao chamado **lenho primaveril** e a região mais escura corresponde ao chamado **lenho outonal**.

O pouco que resta de células representantes de madeiras de coníferas correspondem principalmente as células parenquimatosas e as células epiteliais.

As células parenquimatosas são células pequenas e retangulares, e que ocorrem nas coníferas arranjadas em carreiras radiais, resultando no conjunto do que se denomina de raios.

As células epiteliais são as formadoras dos chamados canais resiníferos e responsáveis pela excreção da resina em seus interiores conforme ocorre na maioria das espécie de coníferas.



- a) Traqueídeo de Conífera
- b) , d) e e) Elementos de vasos
- c) Fibra libriforme de folhosas

Figura 05 - Comparação de tamanho e forma de célula de madeiras de coníferas e folhosas

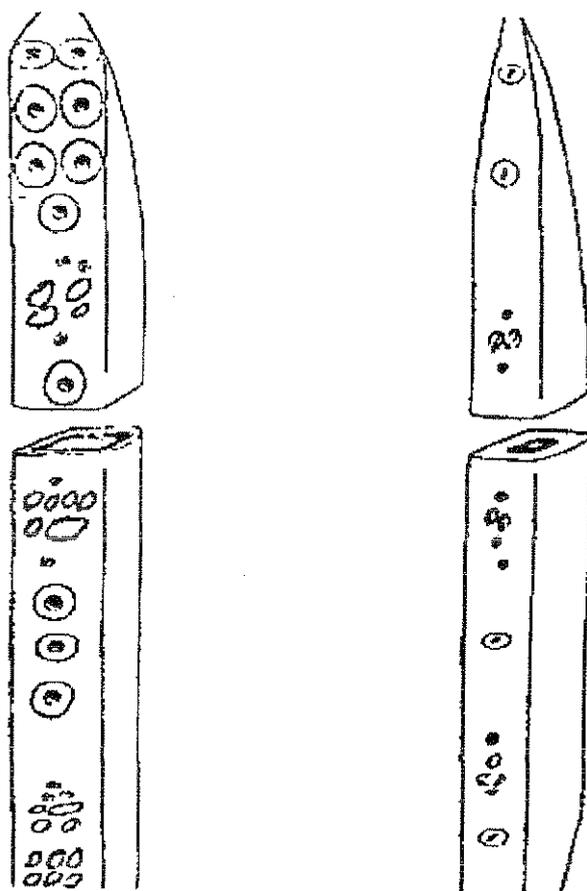


Figura 06 - Traqueídeos de lenho primaveril e outonal

4.1.2- Células da madeira de folhosa

As madeiras de folhosas apresentam as células chamadas fibras.

São células na sua maioria longas e estreitas, com extremidades fechadas e pontiagudas, lembrando genericamente os traqueídeos de coníferas, apesar de serem bem menores.

As fibras podem ser divididas em dois grupos, diferenciados por seus tamanhos e pelos tipos de pontuações presentes: as fibrotraqueídeos (maior diâmetro e comprimento) e as fibrolibriformes que são menores em dimensões.

Dispersos no tecido básico das fibras aparecem os chamados vasos condutores, que podem apresentar-se sob as mais diferentes formas e tamanhos.

Alguns são longos e estreitos, outros são curtos e largos outros podem ser mais largos que longos.

A maior frequência é a de segmentos de vasos largos com extremidades abertas.

As células parenquimatosas também estão presentes na madeira folhosa, na maioria das vezes em número mais acentuados que nas coníferas.

Algumas espécies de folhosas podem também apresentar as chamadas células epiteliais, as quais são responsáveis pela formação dos chamados canais de goma.

4.2- Formação de camadas de tecido das paredes das células

A parede das células da madeira forma-se a partir do arranjo estrutural de cadeias de celulose e da deposição de materiais não celulósicos nos espaços resultantes.

Segundo FENGEL (1984) as várias observações a nível de microscopia eletrônica resultaram no modelo atualmente aceito de deposição dessas camadas conforme descrito a seguir.

O modelo apresentado na figura 07 indica de início a presença de uma fina camada entre as células individuais denominada de lamela média, constituída principalmente por lignina.

Ela é responsável pela união das células individuais para a formação do tecido madeireiro.

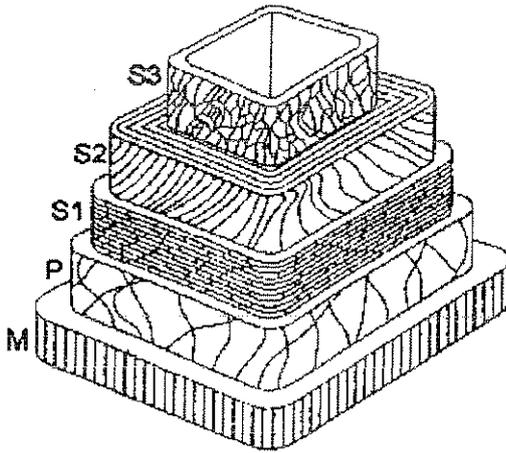


Figura 07 - Modelo de Formação de Camadas da Parede das Células da madeira
Onde:

| | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| P = Parede primária | S1 = parede secundária externa |
| M = lamela intermediária | S2 = parede secundária intermediária |
| | S3 = camada secundária interna |

Da lamela média em direção ao interior da célula tem-se a parede primária (P), constituída por microfibrilas de celulose que são depositadas entrecruzadas entre si.

A camada subsequente é a parede secundária (S), com suas microfibrilas bastante compactadas.

Esta parede em verdade subdivide-se em duas ou três camadas dependendo do tipo de vegetal em análise.

Tais camadas denominadas de S₁, S₂, S₃, apresentam características bem distintas.

A camada S₁ caracteriza-se pela disposição helicoidal de sub-camadas ou lamelas de microfibrilas paralelas.

A camada S₂ é a que apresenta a maior espessura, sendo composta de microfibrilas depositadas sob um elevado grau de paralelismo.

A Camada S₃ apesar de ser descrita como ocorrência genérica em todas as fibras, para FENGEL elas estariam presentes somente nas células de parênquima.

4.2.1- Distribuição de componentes químicos nas células da madeira

Nos vários estudos existentes sobre o assunto, de um modo geral, considera-se que não há celulose na lamela média, ocorrendo fundamentalmente lignina. A parede primária, no início de sua formação, tem uma alta concentração de celulose, mas com o passar do tempo começa a adquirir muitos depósitos de lignina.

Na parede secundária o teor de lignina é baixo, situando-se entre 10 a 20% de acordo com BERLYN (1964). Nesta parede encontra-se uma concentração de celulose.

Distribuição quantitativa de componentes químicos na parede das células

| | Lamela Média Composta | Parede Primária | Parede Secundária | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|----|----|
| | | (LM + PR) | S1 | S2 | S3 |
| Celulose | | -- | 27 | 54 | 45 |
| Hemiceluloses | | 25 | 33 | 26 | 40 |
| Lignina | | 75 | 40 | 20 | 15 |

4.3- Estrutura da madeira

Verificando-se o corte transversal do tronco de uma árvore podemos observar importantes características estruturais. A figura 08 mostra um corte com suas partes componentes.

Medula: É um tecido primário que ocupa a parte central do tronco e as vezes das raízes. Comumente, tem cor mais escura e baixa densidade. Com exceção de algumas espécies, a sua proporção é reduzida em relação ao diâmetro do tronco, razão pelo qual o seu papel é insignificante, mas em algum caso a medula é acentuada, podendo apodrecer (deteriorar) com maior facilidade e causar dificuldades na fabricação de pasta.

Cerne: Conhecido botanicamente como xilema inativo, isto é, não apresenta função condutora; sua parte interna, mais próximo da medula, tem a coloração escura, devido ao maior teor de extrativos (resinas, taninos, etc...) e também por causa da intensificação dos grupos cromóforos da lignina.

Todas as células dessa região são biologicamente mortas e exercem apenas função de sustentação. Sua densidade é maior do que o restante do tronco.

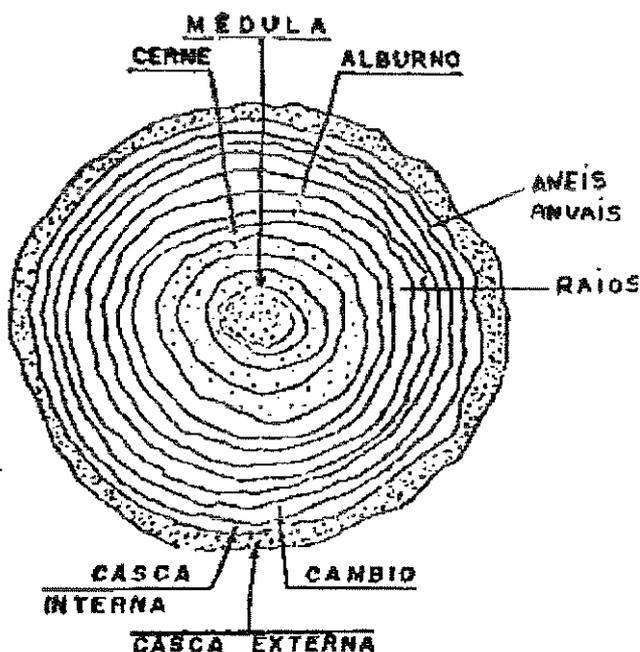


Figura 08 - Componentes da Madeira

Alburno: Botanicamente denominado de xilema ativo, isto é tem função condutora; (conduz a seiva bruta da raiz para a copa.).

Fica compreendido entre o cerne e a casca, apresentam a parte mais clara do tronco. A proporção entre o alburno e o cerne varia de espécie para espécie, inclusive nas espécies idênticas, dependendo da idade, solo e clima. Do ponto de vista da fabricação de celulose as fibras do alburno representa a parte mais nobre do tronco.

Cambio: é a parte viva e mais ativa do tronco; fica compreendido entre o alburno e a casca; onde se dá o crescimento da árvore por divisão celular.

Casca: é a parte mais externa da árvore; apresentam com pouco material fibroso e de baixa qualidade; é subdividida em duas partes denominada de casca interna e casca externa respectivamente; sendo que a casca externa é de coloração mais escura e tem como função de proteger a árvore das condições adversas e agressivas do meio ambiente; tais como: ressecamento, ataques de

fungos, dados mecânicos e variações climáticas. Na casca externa, conhecida também como córtex, as células são mortas, ressecadas, pouco elásticas e contém ainda considerável quantidade de resinas e algumas incrustações (areia, etc...), razão pela qual é raramente utilizada na fabricação de pastas. A casca interna é de coloração mais clara e, é constituída de células, cuja a função é conduzir os carboidratos, isto é, os alimentos formados nas folhas, distribuindo-os ao longo do tronco até as raízes.

4.4- Lenho de Reação

Lenho de reação é um lenho com características anatômicas diferenciadas, que ocorre principalmente no lado inferior dos ramos, nos troncos tortuosos e inclinados das coníferas.

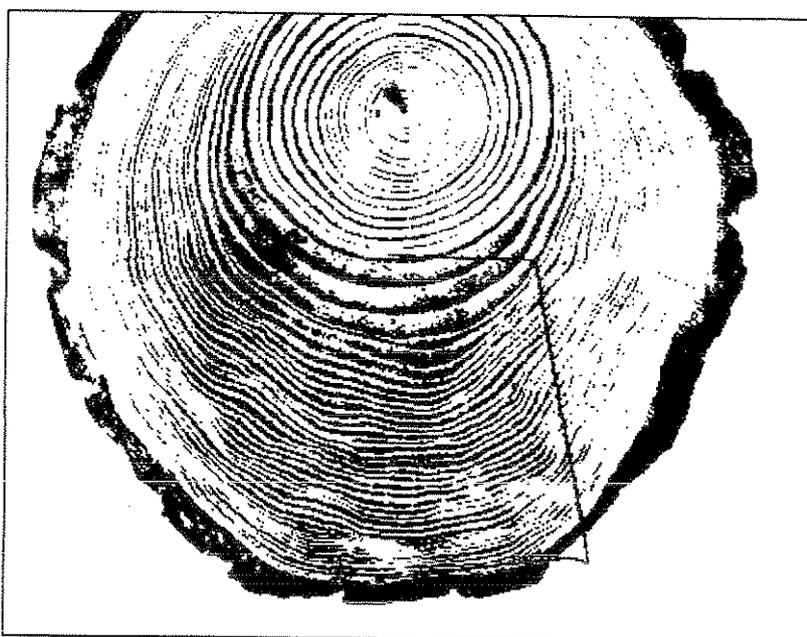


Figura 09 - Madeira de compressão, vista em seção transversal, *Pinus sp*

Contudo este fenômeno também foi observado em plantas com crescimento acelerado, plantas jovens e eretas.

Chama-se lenho de reação, por ser o lenho desenvolvido no restabelecimento da direção original da planta: lenho de compressão nas coníferas e lenho de tensão nas folhosas.

No lenho de compressão, o teor de lignina mais elevado tende a diminuir o rendimento em pasta celulósica. Como as fibras são mais curtas e de parede mais espessa, oferecem maior resistência à moagem e ao achatamento, levando a um papel relativamente mais fraco. Em relação ao lenho de tensão, a camada gelatinosa é composta quase que exclusivamente de celulose e, portanto,

especialmente adequada para produzir pasta celulósica de dissolução com rendimento elevado, mas na fabricação do papel oferece maior resistência ao acomodamento das fibras, o que é pouco conveniente.

4.5- Lenho Juvenil

Juvenil chama-se a madeira formada, nos primeiros anos, perto da medula. A duração do período juvenil (7 a 15 anos) varia de acordo com cada espécie e com o ambiente. Em uma árvore com 15 anos pode ocupar cerca de 85% do tronco e, dos 30 anos em diante, cerca de 10%. De um modo geral, a influência da madeira juvenil é mais acentuada nas coníferas que nas folhosas.

As primeiras diferenças morfológicas e químicas entre lenho juvenil e adulto, são que o juvenil apresenta:

- fibras com menor comprimento médio;
- menor densidade específica;
- anéis de crescimento mais largos;
- maiores teores relativos de hemiceluloses e lignina, e menor de celulose.

4.6- Nó

Parte do caule no qual se insere o galho ou ramo. Apresentam densidade muito alta e baixíssima porosidade. Nós ocorrem em árvores velhas, plantadas em espaçamentos amplos. Costumam ocorrer também em árvores provenientes de sementes pouco classificadas.

5- FATORES NÃO-TECNOLÓGICOS

5.1- Espécie/procedência

Um sistema eficaz de se controlar a qualidade de uma pasta celulósica, deve-se iniciar na floresta, desde a escolha das espécies e sementes e terminar na fábrica consumidora.

Para celulose a madeira deve ter densidade adequada, alto teor de fibras, alto teor de celulose, características de fibras adequadas, baixos teores de extrativos, visando a redução do custo da polpa através do maior rendimento de madeira na fábrica.

5.2- Idade

A árvore, sendo um ser vivo, cresce e passa por período de juvenilidade até atingir a idade adulta.

PALMER e GIBBS (1.972) constataram que celulose de madeira de árvores jovens de *P. caribaea* var. *hondurensis*, apresentaram melhores resistências que dependem das ligações entre as fibras (resistência à tração e ao arrebentamento).

Amostras mais velhas forneceram celuloses com melhores resistências ao rasgo. Fazem menção, ainda, que observando-se a densidade da madeira, rendimento em celulose e resistência físico-mecânicas, pode-se recomendar um ciclo de rotação de cerca de 10 anos.

5.3- Ritmo de crescimento

Os parâmetros mais importantes na definição das qualidades da madeira estão ligados à densidade e às fibras; porém muitas vezes esses fatores nos níveis ideais estão ligados a uma espécie de crescimento lento, o que limita o seu uso nas indústrias.

Ex: Araucária angustifólia.

5.4- Forma/conicidade

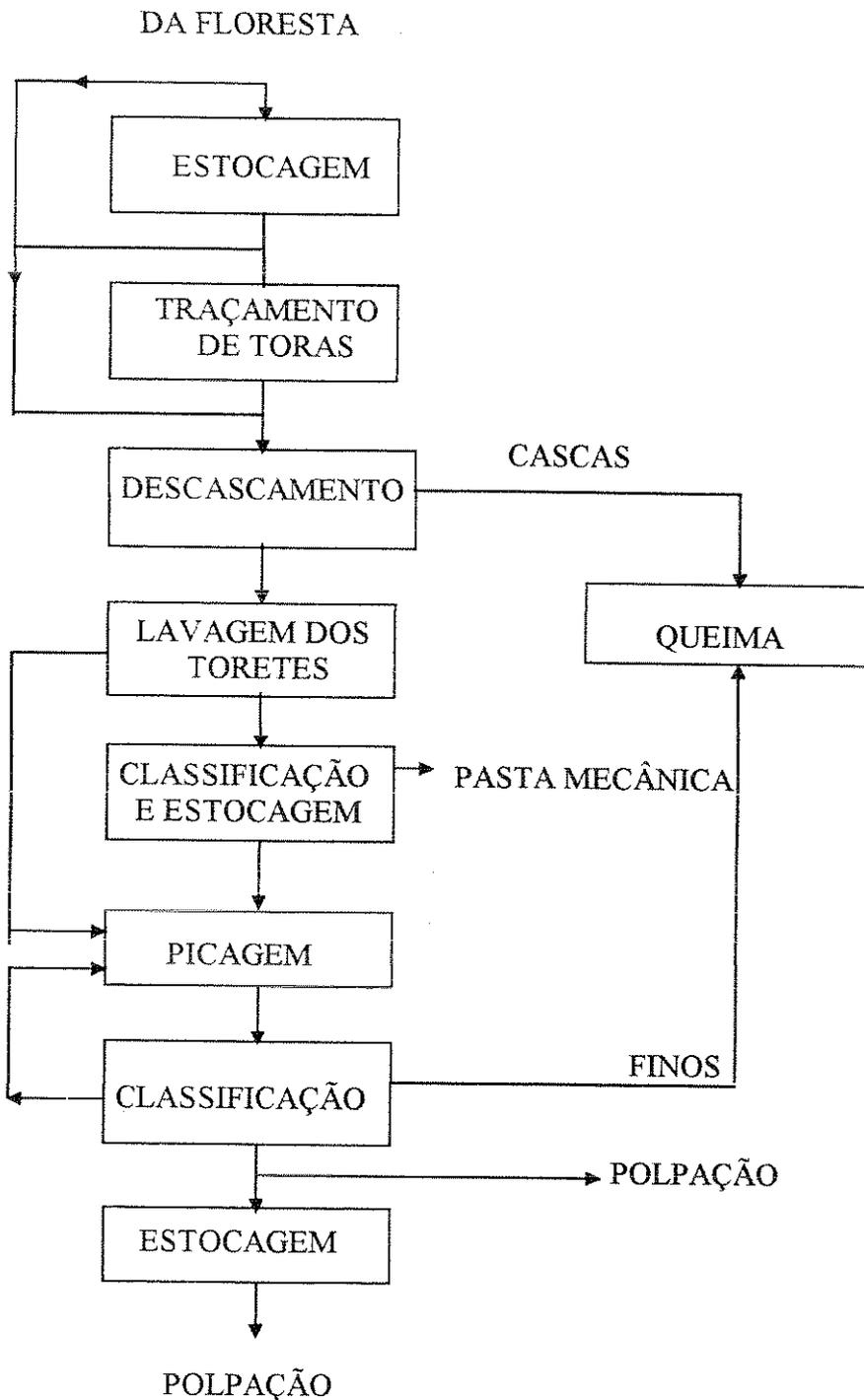
A madeira destinada para pasta celulósica deve ser isenta tanto quanto possível, de defeitos causados por insetos e doenças, tortuosidades de caule.

A qualidade final da madeira estará também atrelada aos métodos silviculturais, à retidão do fuste, à conicidade da árvore e aos ramos finos.

A árvore ideal não existe naturalmente e para se selecionar uma, mais próxima do tipo ideal, há necessidade de conhecimentos profundos da diversidade genética da espécie, da fisiologia e das relações existentes entre as diferentes características e os fatores que as controlam.

6- PREPARO DA MADEIRA PARA PASTA MECÂNICA

Esta área abrange o manuseio e a preparação da madeira, a partir do momento em que esta chega a fábrica até o instante em que é enviada a área de polpação mecânica (em forma de toras) ou a área de polpação química (em forma de cavacos) conforme fluxograma:



6.1- Preparação

A madeira antes de ser descascada é alimentada em forma de toras a uma transportadora, que tem a finalidade de alinhá-las, (fig. 10) de modo a permitir a serragem (slashing) das toras mais compridas.

As toras são cortadas por serras circulares até atingirem os comprimentos requeridos para os descascadores e picadores ou para os desfibradores de pedra, na pasta mecânica, conforme figura 11.



Figura 10 - Alimentação de toras

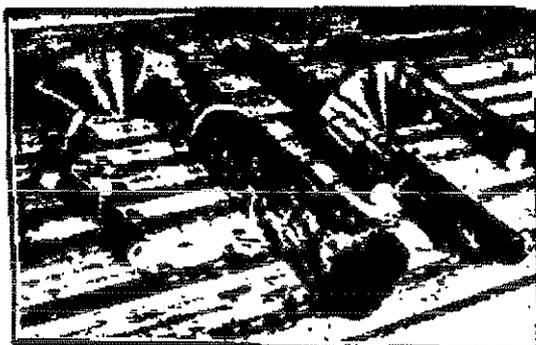


Figura 11 - Tracamento das toras

6.2- Descascamento da Madeira

Objetivo: A madeira sofre descascamento porque a casca, além de possuir fibras utilizáveis em uma quantidade relativamente pequena, consome maior quantidade de reagentes no cozimento e no branqueamento, diminui o rendimento em celulose, além de afetar negativamente as propriedades físicas do produto e aumentar o teor de sujeira na pasta.

O equipamento mais usado para o descascamento das toras é o descascador de tambor a seco. (figura 12)

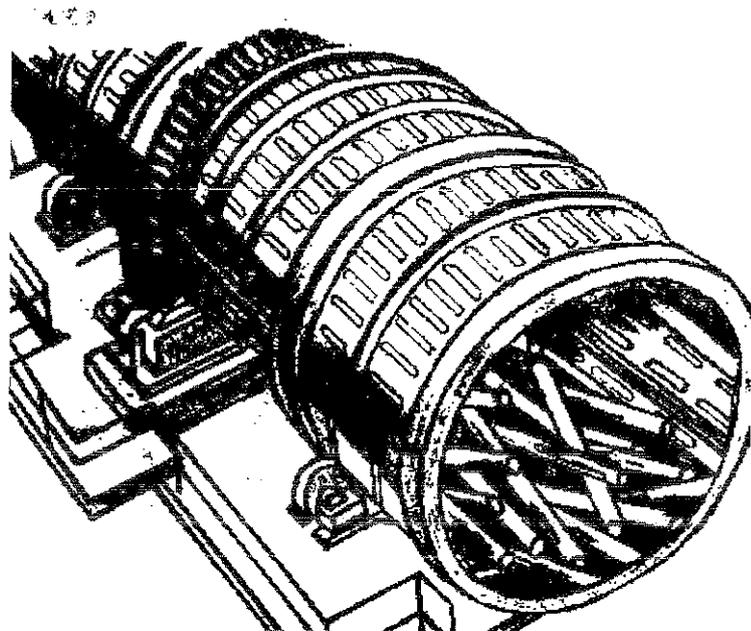


Figura 12 - Descascador de tambor a seco

6.2.1- Descascamento em tambor a seco

O descascamento em um tambor está baseado na remoção da casca usando uma combinação de forças de impacto, atrito e compressão criadas entre as toras, as longarinas e o corpo do tambor.

As forças de impacto serão favorecidas pelo maior diâmetro das toras, facilitando a ação das forças de atrito ou cisalhamento resultando num melhor descascamento.

O tempo de descascamento, ou tempo de retenção da tora no tambor, dependerá principalmente da força de aderência da casca na madeira. Esta aderência é determinada pela espécie da madeira, pelo período ou estação de corte das árvores e pelo tempo de estocagem da madeira após o corte.

No que se refere ao período de corte, as toras são mais fáceis de descascar na época de crescimento (primavera - verão) do que no período de latência (outono - inverno). Durante a estação de crescimento a força de aderência da casca à madeira é menor, sendo que no período de latência da árvore, a casca e a película interna (câmbio) estão firmemente aderidos à madeira.

No descascamento por tombamento a relação entre o comprimento das toras e o diâmetro do tambor usualmente é menor que 0,7 de forma tal que, as toras podem mover-se em qualquer sentido dentro do tambor, sem uma orientação predominante.

O nível normal da carga para que o descascamento seja eficiente é na faixa de 50% a 60%, o que favorece o atrito e a remoção da casca.

Se o descascador ficar com carga baixa teremos como consequência uma fraca/deficiente alimentação dos picadores (perda de produção) e uma indesejável geração de tocos.

As madeiras de coníferas (Pinus taeda e Araucária) após o descascamento são selecionadas para a produção de pasta mecânica de acordo com alguns critérios tais como:

*** Para Pinus taeda**

- Apresentar comprimento máximo em função da largura da pedra desfibradora normalmente 1,20 m .
- Diâmetro mínimo de 10 cm, máximo 35 cm.

*** Para Araucária Angustifolia**

- Comprimento entre 60 cm e 1,20 m (devido a baixa disponibilidade desta matéria prima)
- Diâmetro maior que 8 cm.

Outras características

- Conter baixo teor de resina (reduzir a formação de pitch) por isso o ideal é usar Pinus taeda e Araucária.
- Ser isenta de casca e películas causadores de pontos escuros (pintas) de eliminação quase impossível e alvejamento difícil.
- Não apresentar deformações morfológicas (tortas ou bifurcadas) pois causam relaxamento na carga dificultando o desfibramento.
- Estar isenta de sinais de apodrecimento (cor escura isto reduzirá o rendimento e a alvura da pasta).
- A umidade é um fator importante. A umidade ideal seria de 40% ou mais, pois haverá queda na qualidade e rendimento para a madeira, com umidade inferior a 30%.

6.3- Picagem da Madeira

As toras são reduzidas a cavacos e serão enviados ao setor de produção de celulose, TMP ou CTMP. Normalmente estes cavacos são produzidos em picadores de disco (fig. 13).

6.3.1- Picador de Disco

O picador de disco recebe a madeira através de um bocal que forma um ângulo de 35 a 45° com o disco de facas; normalmente com 12 ou 15 facas.

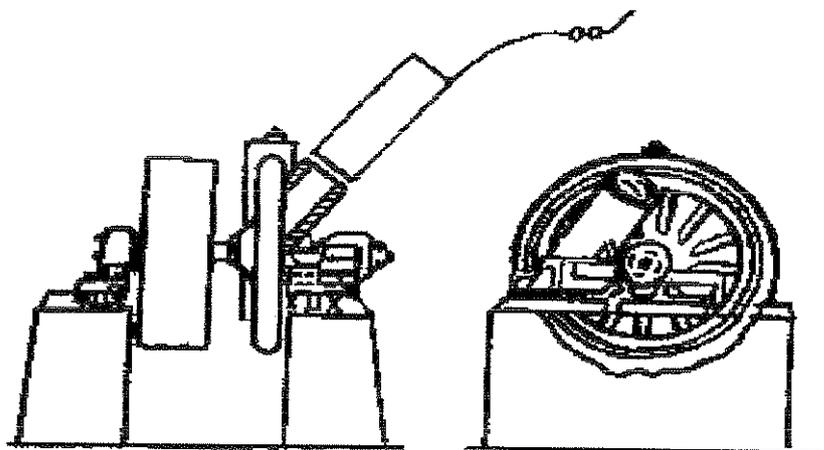


Figura 13 - Picador de discos com múltiplas facas

Os cavacos são obtidos pelo impacto das toras contra as facas para em seguida passarem através de fendas existentes no disco e serem transportadas (por expulsão) até o ciclone.

Para evitar que o cavaco seja arrancado ao invés de cortado deve-se manter distâncias mínimas entre faca e contra faca, normalmente entre 0,6 a 0,8 mm.

A altura das facas e a sua regulagem em relação a contra faca permite definir o comprimento e a espessura do cavaco.

6.4- Qualidade dos cavacos

A qualidade dos cavacos é fortemente influenciada pela velocidade de corte no picador pois como é sabidamente reconhecido, a uma menor velocidade corresponde menor quantidade de finos e palitos. A diminuição do comprimento nominal do cavaco determina além de uma menor quantidade de "over size " uma redução na espessura do cavaco.

No que se refere às características das toras, é de se esperar uma melhor qualidade e uniformidade dos cavacos com diâmetros de toras maiores.

Experiências industriais constataram que pedaços de madeiras e tocos de toras, quando alimentados conjuntamente com as toras normais, perturbam a entrada destas últimas no picador, prejudicando assim a qualidade dos cavacos produzidos, pois acabam gerando quantidade de finos e over size.

6.5- Peneiramento

Esta etapa do processo deve ser entendida como uma operação meramente corretiva para separar a parte não desejada dos cavacos produzidos na etapa anterior (picagem).

O peneiramento é efetivo na remoção de materiais grossos e finos dos cavacos e por extensão outros materiais contaminantes similares em tamanho. (Figura 14).

É bom lembrar que, do ponto de vista celulósico os finos são considerados como material "perdido", enquanto os "overs" podem ser recuperados (repicados) e incorporados ao fluxo de aceitos.

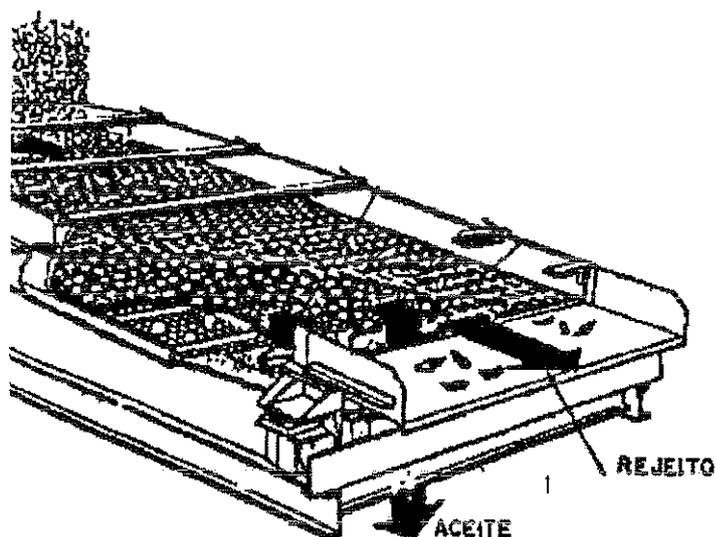


Figura 14 - Peneira classificadora

6.6- Estocagem

A madeira pode ser estocada em forma de toras ou de cavacos. A primeira pode ser feita em uma única pilha ou várias pilhas, em forma de fileiras espaçadas uma das outras. Já a segunda pode ser feita em silos ou em pilhas ao ar livre.

O intervalo de tempo entre o corte na floresta e o processamento da madeira é considerado um fator importante para a qualidade do produto final e, também, para o custo de produção.

Muitos estudos mostraram que as perdas em substâncias da madeira e redução da qualidade da polpa e pasta são equivalentes nas estocagens em cavacos e toras.

Por isso, devemos manter as pilhas identificadas com espécie, semana de corte e data limite de consumo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JAAKKO PÖYRY - Curso Básico de Papel e Celulose
- FOEKEL, Celso Edmundo e Luiz Ernesto Barrichelo - Relações entre Características da Madeira e Propriedades da Celulose e Papel.
- SENAI/IPT - Celulose e Papel - Volume I, 2 edição, São Paulo - 1.988.
- GALAT, Wolodymyr - Noções Básicas sobre Estrutura da Madeira e Morfologia das Fibras.
- BRITO, José Otávio - Características Químicas - Estruturais da Madeira. Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP.
- FILHO, Mário Tomazello - Características Morfológicas e Anatômicas da Madeira. Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP.
- BARRICHELO, Luiz Ernesto - A Madeira como Matéria-prima para a Produção de Celulose. Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP.
- FERREIRA, Mário - Melhoramento Florestal - Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP.

PARTE 02

CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE DESFIBRAMENTO

1. Introdução

Existem dois tipos básicos de polpação - química e mecânica - e elas produzem fibras com características bem diferentes. A escolha do processo de polpação depende da espécie de madeira disponível e da aplicação final da polpa produzida. Em muitos processos de fabricação de papel, utiliza-se uma combinação de processos químicos e mecânicos a fim de obter as características desejadas do papel, a um custo razoável.

A polpação química dissolve a lignina conservando as fibras de celulose juntas. As fibras resultantes são mais longas, mais resistentes e consideravelmente mais fortes que as fibras de polpa mecânica. Elas produzem folhas mais compactas e com menor opacidade. As polpas químicas não branqueadas podem ser usadas para papéis cartão, de embalagem e sacos e podem ser branqueadas até altas alvuras para usos variados.

Alvura obtida nas polpas químicas é mais estável que aquelas obtidas nas polpas mecânicas. As polpas mecânicas ou pastas mecânicas possuem certas propriedades que as tornam úteis em muitos tipos de papéis.

Estas propriedades advêm do fato que praticamente todos os constituintes da madeira são mantidos na pasta. Esta é composta basicamente de feixes de fibras e fragmentos de fibras, com algumas fibras individuais. Devido à mistura natural destas partes na pasta, e devido ao fato que a lignina não é removida, a pasta adquire características desejáveis em certos papéis. Estas propriedades são o comprimento médio reduzido, fibras relativamente duras com tendência a formar folhas com alto volume (bulk) e boa opacidade.

Este volume produz um efeito de amortecimento nas folhas produzidas com pasta, pois as fibras tendem a retornar a sua forma original após uma compressão e descompressão. Esta propriedade, mais o fato que a pasta mecânica absorve tinta facilmente, com rapidez e uniformidade, fornece aos papéis que a contém excelente printabilidade. As pastas têm custo inferior às polpas químicas devido ao seu alto rendimento (quase 100%). Algumas características indesejáveis da pasta são a resistência reduzida, a aspereza e o amarelecimento.

Como as pastas mecânicas conservam quase todos os constituintes originais da madeira, as mesmas são também denominadas **pastas de alto rendimento**.

As pastas são produzidas em graus de refinação diferentes, variando de pastas grossas até as mais finas. As variações de propriedades são obtidas alterando-se as condições de desfibramento ou refinação, que são os processos básicos de produção de pasta.

No processo de desfibramento, toretes de madeira são pressionados contra uma pedra abrasiva girando, o que provoca a separação das fibras da matriz, pelo processo de compressão e descompressão das partículas abrasivas sobre as fibras individuais.

No processo de refinação, cavacos de madeira com tamanho adequado são alimentados entre dois discos metálicos, sendo pelo menos um giratório. As fibras são separadas pela ação das barras e fendas na superfície dos discos. Em ambos os casos, o material resultante deve ser tratado para a remoção dos elementos indesejáveis, antes que as fibras adequadas possam ser utilizadas.

stes dois tipos de pastas mecânicas são bastante diferentes - a pasta mecânica de desfibrador ou pasta mecânica de reboło (pedra) possui um teor mais alto de finos devido a ação abrasiva, enquanto a pasta mecânica de refinador tem um menor teor de finos e fibras mais longas.

As características da pasta mecânica dependem da espécie de madeira utilizada, da qualidade da madeira, das condições de processo e da quantidade de energia elétrica aplicada.

2 - Pasta Mecânica de Desfibrador

2.1 - Introdução

O processo de desfibramento foi o primeiro a ser desenvolvido para a obtenção de matéria-prima para papel a partir de madeira. Os primeiros equipamentos apareceram por volta de 1840 e foram desenvolvidos por Friederich Keller e Heinrich Voelter. Estes equipamentos foram denominados desfibradores. Após algumas experiências Voelter solicitou a ajuda de seu amigo Johann Mattheus Voith e conseguiram alguns avanços. Porém a maior melhoria foi instituída pelo próprio Voith, criando um desfibrador com quatro compartimentos para madeira, que podiam ser recarregados sem interromper a operação. A madeira era prensada contra a pedra através de prensas acionadas por roscas. Voith porém não conseguiu garantir a patente de suas idéias, enquanto Voelter que patenteou seu desfibrador original, se associou com a empresa Brothers Decker & Co., produzindo os primeiros desfibradores instalados na América do Norte, em 1866-67.

Em 1869, Friedrich Voith, assumiu a oficina de seu pai e melhorou o desfibrador, substituindo as roscas por um sistema de engrenagens e correntes. Ele também desenvolveu uma peneira plana vibratória para seleção da pasta e equipamentos para engrossamento da mesma.

Em 1872, F. Voith e Voelter fizeram um acordo sobre as patentes e juntos desenvolveram mais um modelo.

Em 1910, Voith introduziu o desfibrador com magazine (reservatório) hidráulico, que reduzia os custos de produção, utilizavam menos mão-de-obra e tinham maior capacidade produtiva. Em 1915, Voith apresentou seu desfibrador de correntes, que considerava uma evolução rumo ao desfibrador realmente contínuo. No início do século vinte já existiam uma série de modelos de desfibradores, de fabricantes como a Waterous, Kamyr, Voith, Tampella, etc.

2.2 - Tipos de Desfibradores

A pasta mecânica é uma polpa de baixo custo e deve ser produzida com uma alta eficiência, com uma qualidade uniforme em termos de freeness, resistência e alvura, de acordo com o requerido pela máquina de papel, de modo a reduzir o consumo de polpas químicas, que são mais caras. Os equipamentos para a produção de pasta mecânica de reboło devem ser baseados nestes princípios.

Existem dois métodos de aplicar energia à madeira, contra a superfície de um reboło girante: intermitente e continuamente. Foram desenvolvidos assim, uma série de variações e tipos de desfibradores, aplicando-se um ou outro conceito. Iremos em nosso curso citar alguns dos mais comuns.

a - Desfibradores Hidráulicos: Estes desfibradores podem ser encontrados em várias versões:

- três ou quatro pistões com bolsas e alimentação manual;

- dois pistões com pequeno magazine e alimentação manual ou automática;
- dois pistões com grande magazine e alimentação automática.

Como os desfibradores com magazine utilizam madeira mais comprida, aplicam pressões mais altas na madeira, e operam normalmente com velocidades maiores do rebolo, eles possuem uma maior capacidade produtiva que os de bolsa, e assemelham-se aos desfibradores contínuos.

O ponto comum entre estes desfibradores, é que sempre um dos reservatórios de madeira é alimentado, enquanto os outros estão desfibrando. Os tipos mais conhecidos destes desfibradores são:

- Desfibrador de Bolsas - figura 1;
- Desfibrador com Grande Magazine (Magazine Grinder) - figura 2;
- Desfibrador com Pequeno Magazine (Great Northern-Waterous Grinder) - figura 3.

Atenção especial deve ser dedicada a uma evolução no conceito de desfibrador intermitente que é o chamado **Desfibrador Pressurizado** (Pressurized Groundwood - PGW), fabricado originalmente pela Tampella (hoje Valmet), que é mostrado na figura 04.

A carga de toras na parte superior do "magazine", alimenta o desfibrador através de duas câmaras de equalização, que funcionam como um seio de pressão. As câmaras podem ser isoladas por meio de comportas operadas por cilindros hidráulicos à água.

Na superfície de carregamento temos inicialmente o depósito, depois a câmara superior, em seguida a câmara inferior e finalmente a bolsa do desfibrador. Inicialmente, a madeira cai na câmara superior cuja comporta está fechada. Em seguida, a comporta inferior é fechada, a comporta superior é aberta fazendo com que a madeira da câmara superior caia na câmara inferior.

Em seguida, a comporta superior é fechada e a inferior é pressurizada e aberta, permitindo o carregamento da madeira na bolsa do desfibrador sem despressurização.

Assim, através da adequada manobra de comportas e a pressurização das respectivas câmaras é possível alimentar as bolsas do desfibrador, mantendo-o constantemente pressurizado.

No processo de desfibramento à pressão, a pasta é conduzida sob pressão através de uma tubulação de grande diâmetro para um desintegrador, localizado no nível do solo com a finalidade de triturar pedaços de madeira e rejeitos grossos que sobram do desfibrador, evitando riscos de entupimento da depuração.

O alívio da pressão ocorre na válvula de controle instalada antes do ciclone, a qual mantém o nível de pressão constante.

O vapor de flash que sai da pasta quente é separado no ciclone, podendo ser aproveitado para pressurização do próprio sistema ou para fins de aquecimento. Logo após estar na pressão atmosférica, a pasta é enviada para um engrossador, recuperando uma grande parte da água quente que é recirculada para os chuveiros do desfibrador.

Os chuveiros e sulcos da afiação são similares aos usados nos desfibradores convencionais.

A pressurização do desfibrador e alta temperatura da água dos chuveiros, elevam a temperatura na zona desfibradora, aumentando o teor de fibras longas na pasta. As características de resistência aumentam sem necessidade de um maior consumo de energia

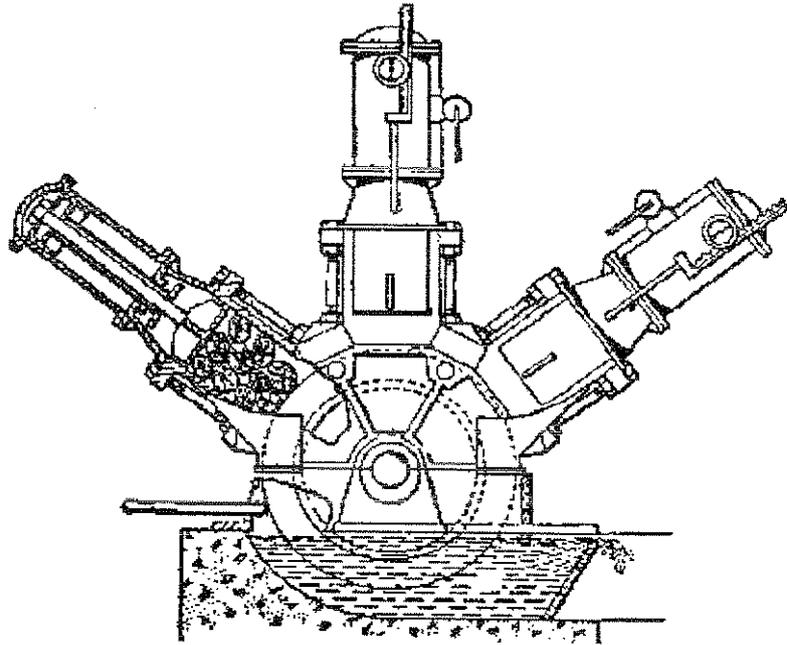


FIGURA 1: DESFIBRADOR DE BOLSAS.

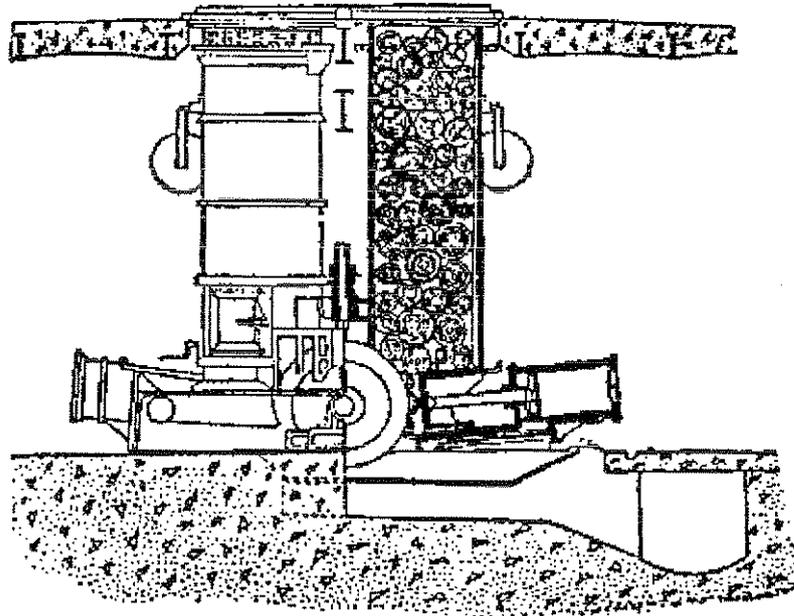


FIGURA 2: DESFIBRADOR COM GRANDE MAGAZINE.

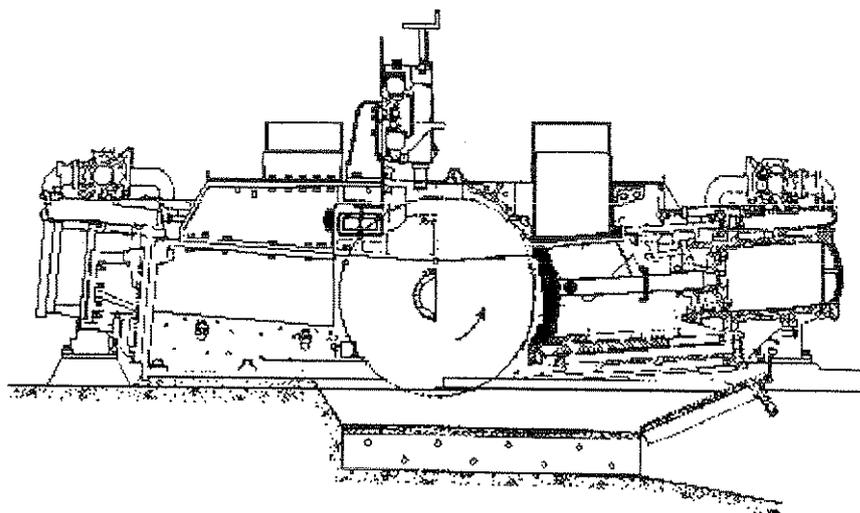


FIGURA 3: DESFIBRADOR GREAT NORTHERN WATEROUS.

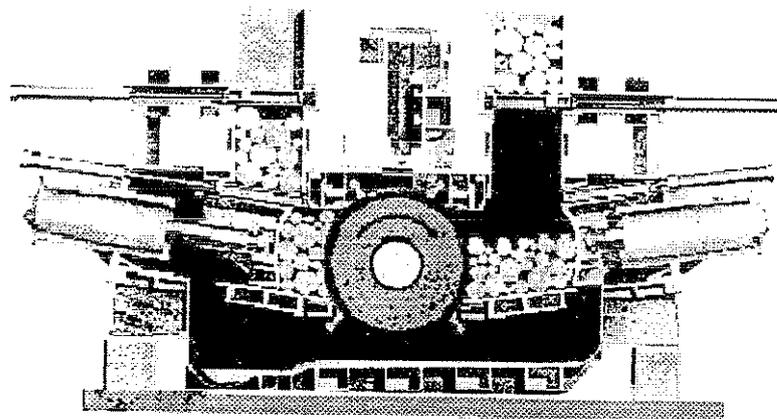


FIGURA 4: DESFIBRADOR PRESSURIZADO.

b - Desfibradores Contínuos: Estes desfibradores são assim denominados porque não possuem carregamento intermitente das bolsas ou magazines. Ao contrário, a madeira é continuamente alimentada ao desfibrador e pressionada contra o rebolo através de algum sistema. Estes desfibradores apresentam algumas vantagens :

- Desfibramento contínuo, pela não necessidade de interrompimento da operação para o carregamento;
- Necessita de menos equipamentos de controle.

Dos vários modelos de desfibradores contínuos, os mais comuns são:

- Desfibrador com Correntes (Chain Grinder): com tração por correntes, como os construídos pela **Voith** da Alemanha, tanto o atmosférico como o THERMO-GRINDING (TGW). Uma versão deste tipo de desfibrador é mostrado na figura 5.
- Desfibrador de Anel (Roberts Grinder): também chamado de desfibrador de coroa, construídos pela TAMPELLA, APPLETON e outros. Estes não são mais construídos, mais ainda existem em operação. Este

Qualquer que seja o tipo de desfibrador, sua função comum é separar fibras de toretes de madeira, pressionando-os contra uma pedra girando.

Deve ficar claro que o processo de separação das fibras não é moagem, mais um desfibramento.

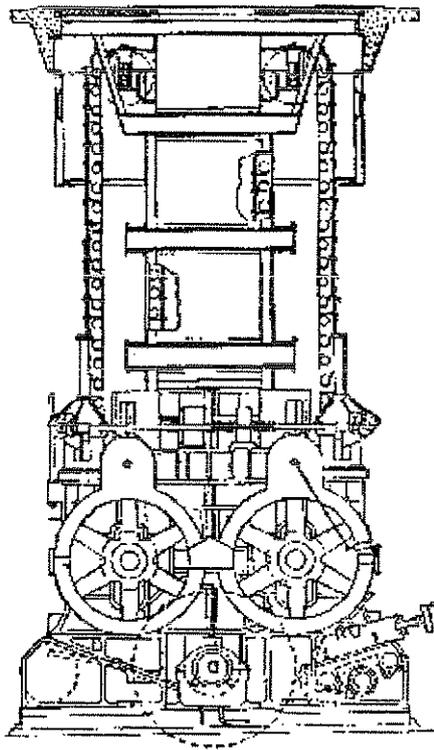


FIGURA 5: DESFIBRADOR DE CORRENTES.

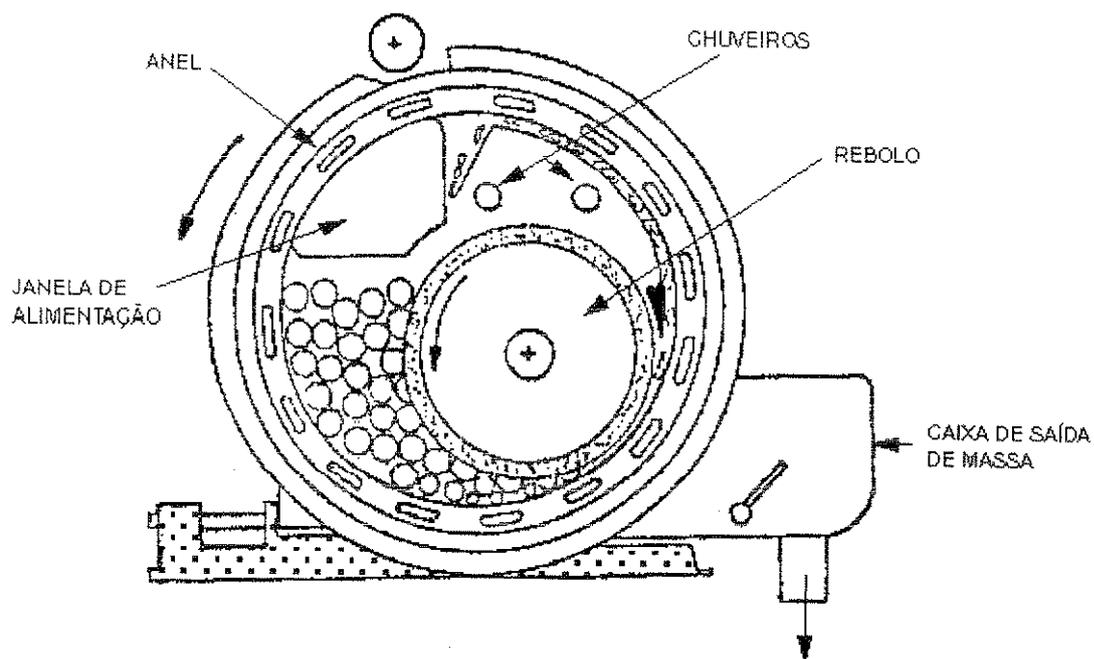


FIGURA 6: DESFIBRADOR DE ANEL.

3 - Elementos do Processo

Qualquer que seja o tipo de desfibrador, existem uma série de pontos comuns que podemos encontrar na grande maioria deles. Estes pontos são os seguintes:

a - O Desfibrador : aberto para a atmosfera ou selado e pressurizado, como o PGW. Contém o espaço para armazenar a madeira a ser processada.

b - O Sistema Rotacional : um eixo, com flanges para a montagem do rebolo o que é acionado por um motor.

c - O Motor : posicionado adjacente ao desfibrador e acoplado ao eixo do sistema rotacional. Frequentemente dois desfibradores são acionados por apenas um motor. Os motores hoje vão de 3500 HP à 10000 HP por desfibrador, e acionam os rebolos em velocidades de 250 a 327 rpm.

d - Pistões, Anel (coroa) ou Correntes: o elemento que pressiona os toretes descascados contra o rebolo girante. Em desfibradores com pistões, cilindros com pressões superiores a 40 atm são utilizados, resultando em toneladas de força da madeira contra a pedra. Imaginando-se que um desfibrador de dois pistões, com uma pedra girando a 327 rpm, produz forças de pressão e descompressão numa frequência de 654 ciclos por minutos, pode-se ter uma idéia do esforço ao qual a pedra é submetida.

e - Chuveiros : instalados no sentido axial, são posicionados de modo a gerar uma cortina contínua de água quente sobre a superfície da pedra. Os chuveiros devem fornecer a pressão, volume e temperatura adequados para suas múltiplas funções:

- * Fornecer água para a zona de desfibramento onde a pedra está em contato com a madeira, para remover a polpa produzida da pedra. Para isto deve-se garantir uma pressão mínima de 5 atm.
- * Limpar a superfície da pedra de finos, rejeitos em geral, para manter a superfície limpa e ativa.
- * Lubrificação, garantida por um filme de água sobre a pedra, sob a madeira, para prevenir a carbonização da madeira e transmitir as forças que separam as fibras de sua matriz.
- * Resfriamento ou remoção do calor gerado pelas forças de fricção sobre a pedra.
- ≡ Controle de consistência da polpa produzida, através do ajuste do volume adicionado, necessário para o manuseio da polpa nos estágios seguintes.

f - Cunha : sua função é reter o material não desfibrado na zona de desfibramento, evitando o acúmulo de bagaço o qual poderia obstruir os chuveiros ou interferir com a circulação de polpa e água no desfibrador.

g - Afiador : o instrumento pelo qual a pedra é retificada ou feita concêntrica ao eixo no qual é montada. É também o meio de produzir as ranhuras, ou padrão, na superfície da pedra, essencial para a operação. O processo de condicionamento ou configuração da pedra é dito afiação.

As condições da superfície da pedra estão diretamente relacionadas com a qualidade da polpa produzida. Em outras palavras, o padrão sobre a pedra influencia grandemente a qualidade da polpa produzida.

Ao mesmo tempo, as ranhuras ou padrão, reduzem a área total de contato entre a madeira e a pedra, para um patamar onde quantidades admissíveis de energia podem ser aplicadas para produzir uma polpa utilizável.

Por meio do padrão ou ranhuras na pedra, a área de contato entre a madeira e a pedra é reduzida. Para uma força constante aplicada pelo anel ou pistão no desfibrador, a pressão específica entre pedra e madeira, é ampliada. Através do aumento ou diminuição da pressão específica com mais ou menos ranhuras, polpas de propriedades diferentes (freeness diferentes) podem ser produzidas. Falamos sobre ranhuras como referência, mas devemos ter em mente que é nos topos entre as ranhuras que a polpa é produzida.

O padrão sobre a pedra facilita todas as funções mencionadas para os chuveiros. É através das ranhuras que a água é transportada até a zona de desfibramento para a lubrificação e a remoção de calor, e as mesmas ranhuras permitem o escoamento da polpa e água para fora da zona de desfibramento.

Nós dissemos que o padrão de afiação reduz a superfície de contato entre a pedra e a madeira. Ao mesmo tempo, a área total da pedra é aumentada. Esta maior área total amplifica a exposição da pedra à água dos chuveiros, melhorando a remoção do calor.

É crítico que o calor gerado na zona de desfibramento, principalmente da fricção, seja eficazmente removido. A temperatura nesta região aproxima-se dos 200°C.

É o calor do processo que facilita a separação das fibras da madeira amolecendo as ligninas para permitir o desfibramento mecânico pelo rebolo. Os limites para a temperatura de operação são impostos pelas reações na madeira e polpa tais como a vitrificação da lignina e reversão de alvura.

Torna-se então claro que a operação do sistema é em grande parte dependente de um adequado manuseio do calor. É sabido que a maior parte da energia aplicada é dissipada na forma de calor e que somente uma pequena fração é utilizada na separação mecânica das fibras.

É fundamental para uma operação eficaz de produção de pasta mecânica de pedra, que o calor seja adequadamente controlado. Para isto, devemos considerar o que chamamos de "A,B,C" do desfibramento:

A - Afiação : um padrão adequado, limpo e bem feito.

B - Bagaço : reduzido por um ajuste adequado da cunha e das folgas entre as partes internas, para evitar obstruções na circulação de polpa e água.

C - Chuveiros : com uma água branca limpa, com o volume adequado, com alta pressão e temperatura apropriada, corretamente dirigido para a pedra.

4 - Teoria do Desfibramento com Rebolos

Os grãos abrasivos protuberantes da superfície de um rebolo artificial recém-afiado possuem vários cantos afiados. Depois de poucas horas de operação as pontas se tornam arredondadas e lisas. Este condicionamento se dá pela lapidação e perda de grãos abrasivos na interface rebolo-madeira. O rebolo condicionado produz polpa de boa qualidade, sem a indesejável ação de corte das fibras que ocorre devido aos grãos afiados de um rebolo não condicionado.

Quando um torete de madeira é pressionado transversalmente contra um rebolo condicionado girando rapidamente, sendo lavado por grandes quantidades de água, as fibras da superfície da madeira são ciclicamente forçadas pelos grãos condicionados, agindo através de um filme de água na interface rebolo-madeira.

Uma representação instantânea da forma, dimensões e espaçamento dos grãos na superfície de um rebolo condicionado, comparativamente as dimensões das fibras no plano transversal de uma madeira de fibras longas, é mostrada na figura 7-A.

Como as fibras longas possuem cerca de 3mm de comprimento e a forma da superfície da rebolo é a mesma na direção perpendicular ao plano da figura, cada fibra da superfície da madeira está simultaneamente em contato com 4 a 5 grãos condicionados, ao longo de seu comprimento.

Cada fibra é submetida a ação de compressão e fricção reversíveis, durante a passagem de um grão, como ilustrado na figura 7-B.

O ponto de distensão máximo ocorre a aproximadamente uma fibra de profundidade da superfície. Este ciclo de forças leva ao rompimento da estrutura da madeira entre a camada superficial de fibras e a camada imediatamente inferior. As fibras liberadas desprendem-se então ordenadamente da superfície da madeira.

Existem pelo menos duas ações distintas no processo de remoção das fibras:

1 - Rompimento inicial, ou afrouxamento da camada superficial de fibras através da fadiga, causada pelos ciclos de compressão e descompressão. Esta fase consome a maior parte da energia aplicada.

2 - Remoção de fibras soltas pela interação física entre elas e as fibras arrancadas movendo-se entre a interface. Esta ação é controlada pela altura média dos grãos e consome relativamente pouca energia.

Na superfície de uma pedra desfibradora, como também é chamado o rebolo, os grãos não se encontram numa ordem constante, e cada seção ao longo do comprimento de cada fibra é submetida as deformações em intervalos aleatórios, por uma série de grãos antes que a fibra seja removida.

Quando as fibras de uma determinada área da madeira foram afrouxadas, elas são removidas pela ação de descascamento, que geralmente se inicia em uma das extremidades das fibras. As fibras sempre "descascam" numa determinada seqüência, numa determinada direção. O descascamento de camadas unitárias de fibras ocorrem simultaneamente numa série de pequenas áreas diferentes da superfície da madeira.

Enquanto as fibras frouxas de uma determinada área estão sendo "descascadas", outras estão sendo afrouxadas, seguindo-se esta ação continuamente.

A estrutura fibrilar interna da camada superficial das fibras é trabalhada consideravelmente, antes das mesmas serem "descascadas".

Tais fibras têm sua capacidade de hidratação aumentada. Entretanto é evidente que mesmo as fibras liberadas são submetidas à uma ação mecânica adicional, ação esta denominada **redesfibramento**.

A pedra desfibradora pode ser classificada como um elemento batedor girante e a superfície dos toretes parcialmente desfibrados, atuam como estatores do batedor. Esta ação de batimento é extremamente severa e conduz ao desgaste descontrolado das fibras.

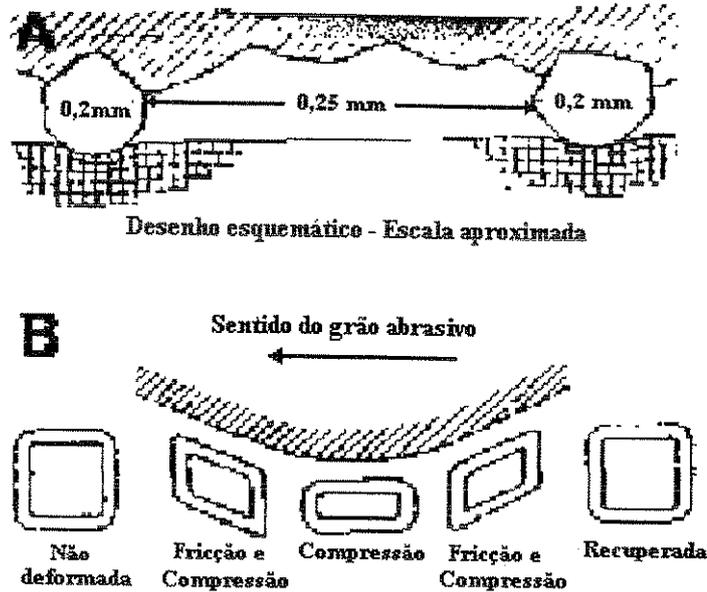


FIGURA 7: Ação dos grãos abrasivos sobre as fibras da madeira.

Quando o comprimento da zona de desfibramento é curto, esta ação de batimento é praticamente eliminada, o comprimento das fibras é conservado. Porém, estas pastas grossas necessitam de refinação posterior para desenvolver as propriedades necessárias à fabricação do papel.

5 - Teoria da Afição das Pedras Desfibradoras

Na afiação da pedra desfibradora, não se afiam os grãos abrasivos individualmente. Estes grãos são muito mais duros que as carretilhas de afiação. A afiação das pedras se dá pela fratura do material ligante entre os grãos, que é mais mole, removendo-se os grãos gastos, expondo novos grãos afiados. A figura 8 ilustra a composição da superfície da pedra com os grãos abrasivos, material ligante e os poros.

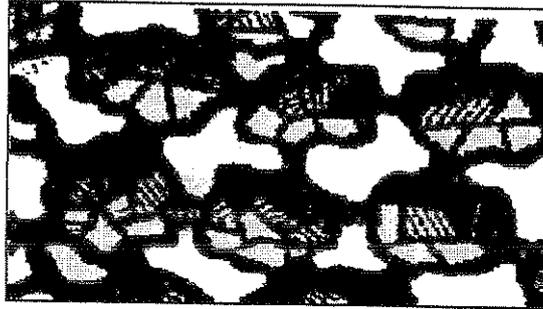


FIGURA 8: Composição da superfície da pedra desfibradora.

Uma pedra desfibradora é afiada pelos seguintes motivos:

a → **Expor novos grãos:** depois de um período de operação, os grãos da superfície da pedra se tornam arredondados e cegos, pela fricção da madeira contra a mesma. Durante a afiação, os dentes da carretilha rompem o material ligante que sustentam os grãos na superfície da pedra, soltando os grãos gastos e expondo novos grãos abrasivos afiados. A quantidade de grãos afiados expostos é controlada pela profundidade da penetração dos dentes da carretilha na superfície da pedra. Quanto mais profunda a penetração, maior o número de pontos de ligação rompidos e maior a quantidade de grãos removidos (figura 9).

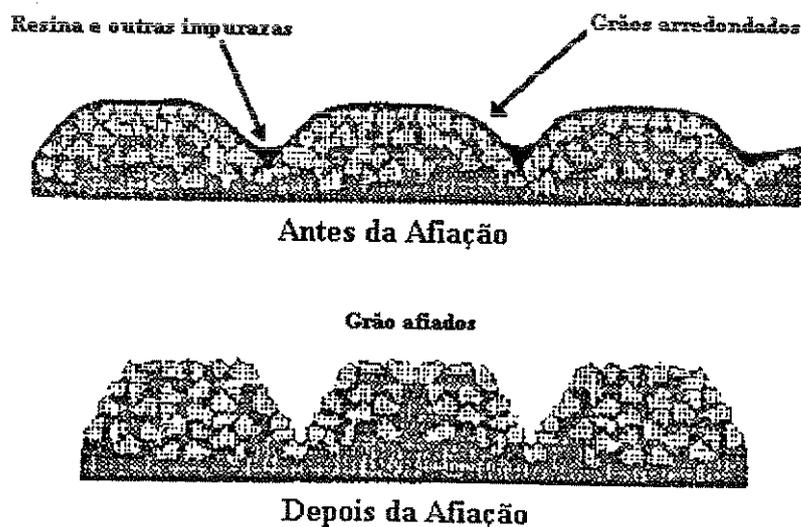


FIGURA 9: Exposição dos grão na afiação.

b → Reduzir a área de desfibramento da pedra : estudos têm indicado que na fabricação de pasta mecânica para papel imprensa, cada grão da superfície da pedra dissipa 1/1000 hp de energia. As pedras comumente usadas para produzir pasta mecânica para papel imprensa, possuem cerca de 2000 grãos ativos por polegada quadrada de superfície da pedra, sendo necessários portanto 2 hp por polegada quadrada para a produção de pasta para papel imprensa. Os desfibradores não possuem motores capazes de fornecer 2 hp/pol.².

As instalações em geral são capazes de fornecer 1 hp/pol.². Através da confecção de ranhuras pela ação da carretilha na afiação, reduz-se o número de grãos ativos até um número adequado para obtenção de polpa com a qualidade desejada.

c → Controlar a frequência de compressão/descompressão no processo de desfibramento os topos e ranhuras da pedra passam rapidamente sobre a superfície da madeira (figura 9).

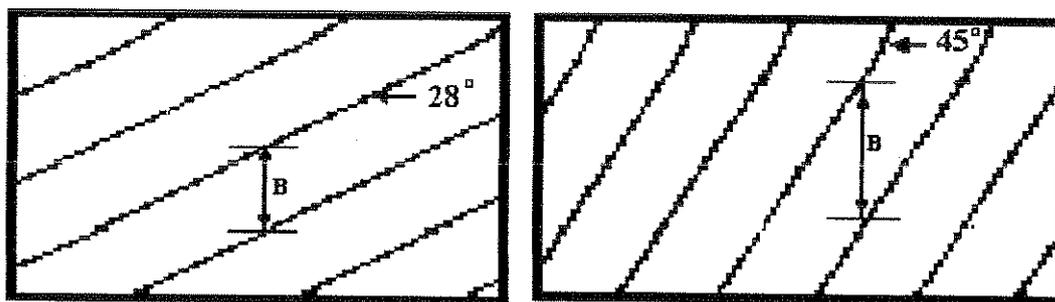
Cada vez que um topo passa sobre a madeira, ele comprime as fibras, e cada vez que passa uma ranhura as mesmas são descomprimidas. Esta seqüência de compressão e descompressão gera calor que amolece a lignina que mantém as fibras agrupadas. Quando a lignina atinge o ponto de amolecimento ideal, as fibras se separam da superfície da madeira.

Um padrão de afiação apresentando uma área de topo estreita fornece uma alta pressão específica, o que aumenta o aquecimento localizado da madeira. Este aumento do amolecimento resulta na liberação de fibras mais longas e mais feixes de fibras, formando uma pasta com freeness mais alto.

d → Controlar o comprimento das fibras: o comprimento das fibras é controlado não somente pelo grau de amolecimento da lignina, como mencionado acima, mas também pela quantidade de redesfibramento que as mesmas sofreram após terem se separado da madeira.

As ranhuras na pedra permitem o arraste das fibras para fora da zona de desfibramento evitando o redesfibramento.

Ranhuras profundas e com contornos bem definidos contribuem para a produção de pasta com fibras mais longas. O comprimento da zona de desfibramento pode ser ampliado, aumentando-se o ângulo dos fios da carretilha utilizada, gerando-se então redesfibramento, o que leva a produção de uma pasta com fibras mais curtas e freeness mais baixo (figura 10).



B = Comprimento da zona de desfibramento

FIGURA 10: Ângulo de Afiação versus comprimento de desfibramento.

e → Limpar os poros da pedra desfibradora: os poros da pedra são bloqueados com resina e finos da madeira. Como os poros têm a função de dissipar o calor gerado no desfibramento e controlar a temperatura da pedra, um entupimento severo destes poros pode resultar em trincas nas superfícies da pedra e carbonização da madeira.

A afiação não somente expõe os novos grãos abrasivos mais também os novos poros, os quais podem absorver água de resfriamento e regular a temperatura da pedra (vide figura 9).

f → Resfriamento da zona de desfibramento e da pedra: a área total da superfície da pedra é ampliada pela confecção de ranhuras na mesma. Esta área maior contribui para melhorar a dissipação do calor na superfície da pedra.

É importante existir a quantidade adequada de água na zona de desfibramento, sem a qual a pedra começa a queimar e interrompe o desfibramento.

As ranhuras transportam água até a zona de desfibramento, e a profundidade das ranhuras controla a quantidade de água que pode atingir estes pontos.

6 - Seleção do Padrão de Afição

6.1 - Teoria para Seleção do Padrão

A determinação do padrão adequado de afiação a ser utilizado numa pedra desfibradora depende de muitas variáveis, tais como:

- Composição da pedra;
- Espécie de madeira;
- Potência do motor;
- Tipo de desfibrador;
- Velocidade da pedra;
- Variação do freeness desejado;
- Tipo de papel a ser produzido; e as condições do equipamento de afiação.

A primeira consideração a ser feita, é encontrar o padrão que irá produzir o freeness desejado na pasta. A fórmula básica do desfibramento é $Q = Ps$, onde Q é a qualidade da polpa e Ps é a pressão específica de desfibramento. Mais simplificada pode-se escrever $Ps = CSF$, ou a pressão específica controla o freeness.

O aumento da pressão específica significa o aumento da deformação das fibras, aumentando assim o aquecimento da lignina que sustenta as fibras na madeira. O amolecimento mais rápido da lignina liberará fibras mais longas e mais feixes de fibras o que aumenta o freeness da pasta.

A fórmula $Ps = CSF$ pode ser alterada para $LR = CSF$ ou a largura da ranhura é diretamente proporcional ao freeness. A largura da ranhura é medida como a distância entre dois topos consecutivos à 90° do eixo da ranhura. Esta largura controla diretamente a pressão específica de desfibramento e assim a qualidade da polpa.

As considerações acima são válidas para um motor com carga constante.

6.2 Carretilhas

As carretilhas, também denominadas picotadores, são os instrumentos através dos quais é impresso sobre a pedra desfibradora, o padrão desejado para a superfície de desfibramento. Os tipos de carretilhas mais comuns são a Diamond e a espiral (figura 11).

As carretilhas tipo Diamond são normalmente utilizadas para uniformizar a superfície da pedra e remover padrões desgastados. As carretilhas Diamond são numeradas de acordo com o número de dentes por polegada linear.

As carretilhas espirais quando utilizadas produzem uma série de ranhuras diagonais na superfície da pedra desfibradora. Os ângulos das ranhuras correspondem ao ângulo das carretilhas, e este varia de 0 a 90° (figura 12). As carretilhas são também identificadas pelo número de fios por polegada linear.

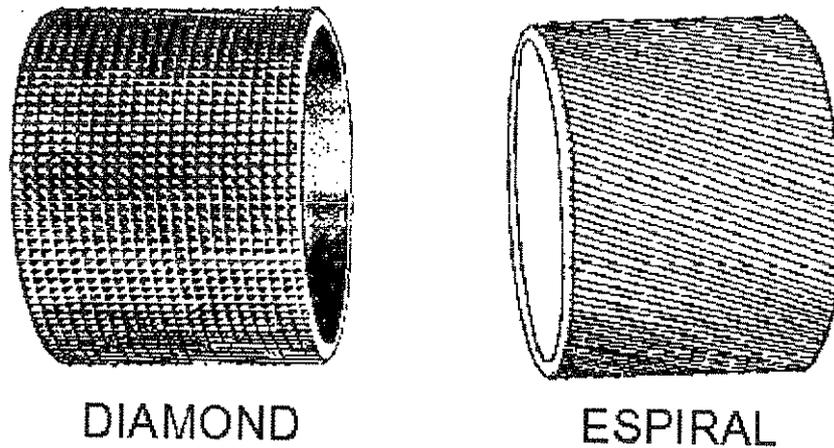


FIGURA 11: Tipos mais comuns de carretilhas.

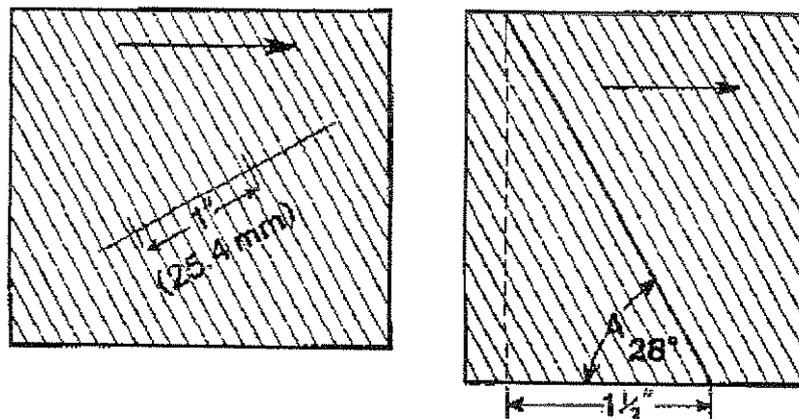


FIGURA 12: "Pitch" (nº de fios por polegada) e ângulo da carretilha espiral.

6.3 - Regras de Seleção de Padrão

- 1 - Topos estreitos produzidos por uma carretilha com grande número de fios por polegada, irão produzir uma polpa com freeness alto.
- 2 - Para reduzir o freeness, deve-se aumentar a largura dos topos utilizando-se uma carretilha de menor número (figuras 13-A e 13-B).
- 3 - Para melhorar a qualidade da polpa, aplicando-se mais energia à pedra, sem alterar o freeness, deve-se utilizar uma carretilha de número menor.
- 4 - Pedras com grãos maiores precisam de topos mais largos produzidos por carretilhas com números menores.

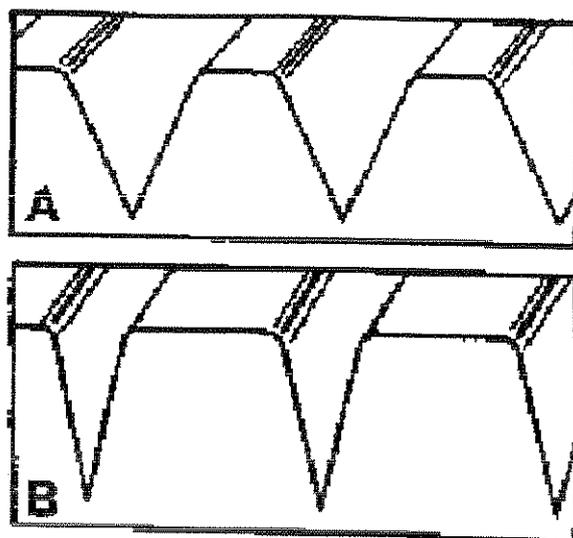


FIGURA 12: Variação dos topos conforme número da carretilha.

5 - Desfibradores com motores mais potentes, necessitam de topos maiores, para produzir freeness semelhante à desfibradores menos potentes.

6 - Desfibradores com altas velocidades superficiais, necessitam de topos maiores, para produzir freeness semelhante à desfibradores com velocidades mais baixas.

6.4 - Tamanho dos Grãos Abrasivos

Deve ser dispensada uma atenção especial ao tamanho médio dos grãos ao selecionar uma carretilha, a fim de não se adotar uma carretilha muito fina. A base dos topos produzidos pela afiação, deve possuir pelo menos 5 vezes o diâmetro do grão de largura para garantir resistência suficiente à pressão de desfibramento

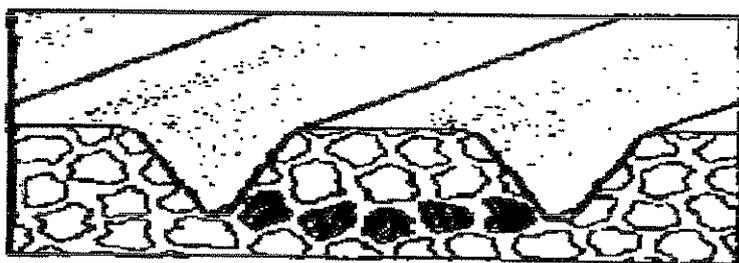


FIGURA 14: Padrão mínimo de largura da base dos topos.

Ocasionalmente os operadores poderão observar que ao se utilizar uma carretilha muito fina, eles obtiveram polpa com um freeness mais baixo, contrariando a teoria. Porém, isto é uma indicação que a

carretilha selecionada é muito fina, e os topos produzidos na afiação estão desmanchando por não possuir pelo menos 5 grãos na base, para suportar a pressão. Isto irá provocar uma necessidade mais freqüente de afiações, para manter a produção com a qualidade e o consumo de energia aceitáveis, reduzindo assim a vida útil da pedra.

6.5 - Ângulo da Afição

O ângulo de afiação tem um efeito menor sobre o freeness da pasta, porém tem influência no comprimento das fibras, fibrilação e flexibilidade.

Este ângulo têm influência no grau de redesfibramento das fibras uma vez que tenham se separado da madeira. Um ângulo maior irá produzir uma zona de desfibramento mais longa, resultando em fibras mais flexíveis. Um padrão confeccionado com uma carretilha de ângulo maior irá produzir uma pasta com freeness mais baixo, com fibras mais curtas, menos shives e teor de finos mais alto.

A taxa de produção será ligeiramente inferior, devido ao redesfibramento. O aumento do ângulo da carretilha aumentará a área de desfibramento, porém em um grau menor do que se alterarmos o número da carretilha.

7 - Controle das Variáveis no Desfibramento

O desfibrador é um equipamento como já vimos anteriormente, que transforma as toras descascadas de madeira em fibras, através de um trabalho essencialmente mecânico.

O objetivo principal é produzir pasta com qualidade mais constante possível. Para isso devemos buscar otimizar as variáveis do processo.

7.1 - Pressão de Desfibramento

A pressão e avanço da madeira são variáveis importantíssimas. Maior velocidade nos elementos de avanço, aumenta a pressão e a potência.

Com o aumento da potência, a madeira fica mais fortemente prensada contra a superfície do rebolo e se aprofunda nas cavidades do desenho da afiação.

Com o aumento da pressão, o trabalho das partículas desfibradoras torna-se mais intensivo e se amplia sobre mais camadas ou maior número de fibras.

Com o aumento da pressão, mantendo constante as demais variáveis, ocorre o aumento do freeness, significando que a percentagem de finos fibrilados, nos finos totais está sendo reduzida.

Este fato é confirmado pela redução do consumo específico de energia e queda na resistência física da pasta.

A pressão, a qual a madeira é submetida sobre a superfície desfibradora cria ciclos de compressão e descompressão. Estes ciclos ocorrem devido a passagem alternada da madeira sobre os topos e as ranhuras na superfície desfibradora.

As fibras sofrem um empuxo no sentido de rotação da pedra, resultando num esforço transversal na separação das fibras.

Para se obter boa qualidade de massa, a estrutura da superfície do rebolo deve ser fina. Embora ocorra uma atividade mais intensa sobre as partículas, elas devem suportar a pressão com efeitos mais suaves e maior fibrilação.

A pressão específica varia durante o desfibramento, mesmo mantendo a força aplicada constante, pela variação da área de contato da madeira conforme vai sendo desfibrada.

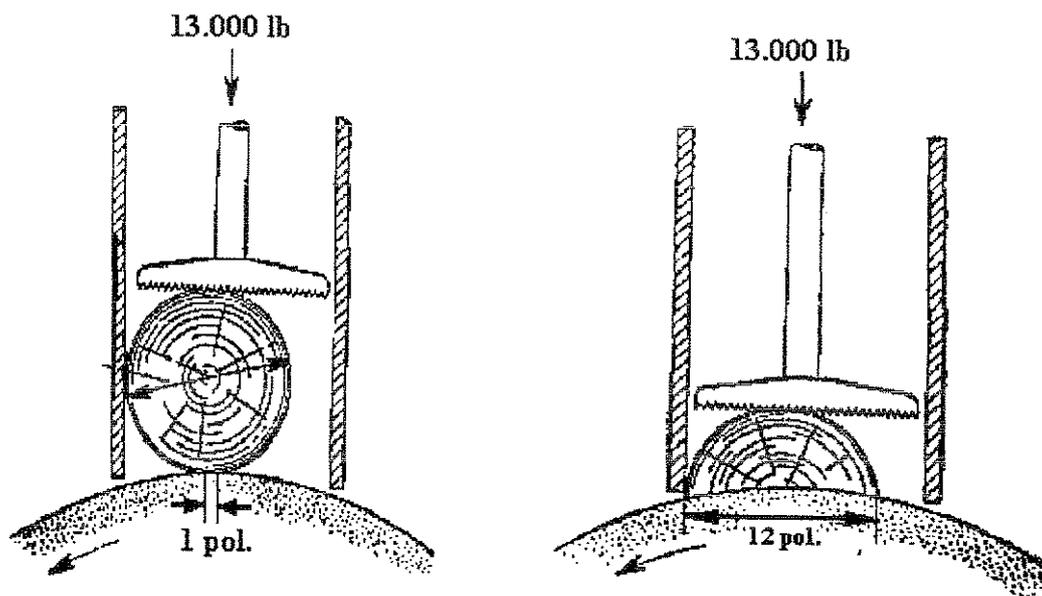


FIGURA 15: Variação da pressão específica.

7.2 - Energia Específica

Durante a operação de desfibramento a maior parte da energia elétrica do motor é convertida em calor. Os grãos varrem a superfície da madeira com certa velocidade e, cada vez que o ápice da partícula passa por um ponto fixo na madeira, cria-se uma pulsação decorrente de uma compressão e descompressão naquele ponto.

A energia cedida pelo atrito, mais aquela recebida durante os ciclos de compressão e descompressão, é convertida em calor que é transitoriamente armazenada na madeira. Em seguida, a energia escapa com a pasta aquecida, com a água de diluição dos chuveiros, pelos exaustores, tanques e perdas por radiação. A quantidade de energia transferida durante o desfibramento depende de:

- Pressão das partículas sobre a madeira:
- Frequência da passagem:
- Condição da superfície do rebolo:
- Tipo de afiação:
- Temperatura:
- Chuveiros e madeira.

Com o alisamento progressivo da superfície do rebolo durante o desfibramento, a potência aplicada deve ser aumentada, até chegar ao limite máximo estabelecido para o motor.

Se isto não for feito, a produção diminui, aumenta o consumo específico de energia e o freeeness diminui, prejudicando a drenabilidade da pasta. O consumo específico de energia é a relação entre consumo de energia e a produção obtida com a qualidade desejada (CEE).

Deve-se procurar encontrar um ponto ótimo, de modo que a produção seja alta, o consumo de energia específica baixo e a qualidade da pasta uniforme e programada.

$$CEE = \frac{\text{Energia consumida (Kwh)}}{\text{Produção realizada}}$$

7.3 - Consistência

Não há opinião uniforme quanto a consistência a ser praticada no desfibramento da madeira. Dependendo das fábricas, pode variar de 0,8 até 2,5%.

A consistência na zona de desfibramento deve ser suficientemente baixa, permitindo o escoamento da pasta e evitando excessivo aumento da temperatura.

Quanto a consistência da pasta na tina, há duas situações diferentes:

- com rebolo submerso: enquanto for mais alta a consistência maior a quantidade de fibras é arrastada pelo rebolo para sofrer redesfibramento, tendo como resultado maior percentual de fibras finas e farinha.

- com rebolo não submerso: neste caso não há arraste de fibras, percentual de finos é menor e aumenta a quantidade de fibras longas, pode-se operar com consistência alta, dependendo das condições na zona de desfibramento.

7.4 - Velocidade Periférica da Pedra

A velocidade periférica considerada constante, diminui com o desgaste da pedra.

$$\text{Velocidade} = \frac{\text{Ø} \cdot \pi \cdot \text{rpm}}{60}$$

Assim por exemplo, para um rebolo novo com 1,70 m de diâmetro e 240 rpm, a velocidade periférica é:

$$\text{Velocidade Periférica} = \frac{1,70 \times 3,1416 \times 240}{60}$$

$$V.P = 21,4 \text{ m/s}$$

Digamos que ao chegar ao final da vida útil dos segmentos, o diâmetro seja de 1,63 m. Então temos que:

$$\text{Velocidade Periférica} = \frac{1,63 \times 3,1416 \times 240}{60}$$

$$\text{V.P.} = 20,5 \text{ m/s}$$

Para um determinado comprimento de zona de desfibramento, a velocidade periférica determina o tempo de permanência de uma partícula de madeira nesta zona.

Velocidades periféricas reduzidas são mais favoráveis para o processo de desfibramento, resultando em pastas de melhor qualidade, porém uma maior velocidade periférica fornece maior produção, maior aplicação de energia e menor consumo específico de energia.

7.5 - Umidade da madeira

Com umidade da madeira mais adequada, os grânulos arrancam com maior facilidade as fibras da madeira amolecida pelo calor, pois a água facilita a transferência de calor no processo.

No caso de escassez de umidade, em consequência da evaporação durante o período de corte e estocagem, o calor na área de atrito ataca as fibras que são danificadas pelo fenômeno chamado "hidrólise".

O processo de secagem resulta no endurecimento da madeira e no aumento de sua resistência ao desfibramento, comprometendo a produção.

Acima de 45% de umidade, começa o entumescimento das fibras, ficando estas com paredes moles, maleáveis e mais flexíveis.

A remoção das fibras para fora da estrutura da tora é facilitada em virtude de sua maleabilidade. No trabalho de compressão e descompressão, elas partem-se no sentido longitudinal. A madeira com baixo teor de umidade produz elevado teor de fibras finas com características negativas (fibras cortadas e quebradas).

7.6 - Temperatura

As diversas temperaturas encontradas no desfibramento da pasta, desde a água dos chuveiros até a madeira, estão entre si numa correlação bastante elevada. Qualquer alteração na temperatura da água dos chuveiros, provoca uma alteração da temperatura da madeira, uma vez mantidas inalteradas as demais condições de desfibramento.

O incremento da temperatura é consequência da pressão da madeira na zona desfibradora.

Da energia aplicada na pressão da madeira contra a pedra, uma pequena parte é gasta no arranque das fibras e maior parte é transformada em calor. O calor amolece e plastifica a lignina que representa 30 a 35% da madeira.

O fenômeno da plasticidade não depende somente das características morfológicas da madeira.

A lignina é plastificada mais facilmente do que as fibras, e a taxa de amolecimento depende da temperatura e do teor de umidade da madeira.

Na medida em que as pulsações, conduzidas através da madeira, são transformadas em calor, ocorre o aumento da temperatura, levando a lignina para um estado transitório. Nesta condição, a estrutura da madeira na região das pulsações vem a colapsar, transformando-se em fibras, feixes de fibras, e fragmentos. Em continuação e complementação do processo, as fibras, também sujeitas as ações de pulsações, chegam a sofrer deformações na sua estrutura íntima na forma de rompimento da parede e conseqüente fibrilamento.

A lignina é um ligante termoplástico que mantém as fibras da madeira coesas e estruturadas.

Quando submetida ao calor, a lignina começa a amolecer ao redor dos 160°C. Entretanto, na presença de maior umidade começa amolecer a uma temperatura mais baixa. Sua faixa de transição vítrea inicia por volta de 125°C, e o incremento da temperatura ocorre rapidamente e se propaga por 1 a 2 mm para o interior da madeira.

Como é muito fina a camada da madeira aquecida na temperatura ideal, é provável, que somente parte da lignina da lamela média atinja o limiar da transição vítrea, e que o estado plástico seja atingido por um período de tempo bastante reduzido, com um retorno imediato a condição vítrea.

Nesta condição, tanto a lamela média como as próprias fibras são facilmente fragmentadas pelos grânulos existentes no topo das arestas desfibradoras da superfície.

Deve-se buscar a operação do desfibrador na temperatura da tina mais alta possível, sem que ocorra carbonização da madeira, isto é 78-80 °C.

7.7 - Separação das Paredes das Fibras

Conforme já mencionados, nas temperaturas muito altas (165 a 185°C), a lignina fica amolecida até o ponto em que as fibras possam ser facilmente separadas da matriz, praticamente na sua forma intacta e com menor consumo de energia.

A explicação para este fenômeno é o seguinte:

- quando o desfibramento é conduzido em altas temperaturas, a lignina é levada ao elevado estado de amolecimento.

A separação de fibras, nesse estado, ocorre exatamente na região da lamela média, resultando em fibras intactas, cobertas com uma camada de lignina amolecida, mas que, ao esfriar, retorna ao seu estado original. Neste caso, as propriedades de interligação de fibras, responsáveis pela resistência da pasta e indispensável para a fabricação do papel não foram desenvolvidas.

O desfibramento deve ocorrer na temperatura que não exceda o ponto de transição vítrea da lignina.

Neste caso a separação de fibras vai ocorrer nas camadas da parede celular **P1** e parcialmente **S**, favorecendo o fibrilamento.

8 - Controle de Qualidade

A qualidade da pasta mecânica será determinada pelas variáveis de processo, já citadas no capítulo anterior. Todas elas tem alguma influência na qualidade final da pasta. Deve-se ficar bem claro que é no processo de desfibramento que se começa a determinar a qualidade do produto final. Uma pasta produzida nos desfibradores com propriedades muito ruins em termos de resistência e alvura, poderá ser recuperada até certo ponto posteriormente, porém isto elevará os custos da mesma.

Dos vários interferentes na qualidade um dos mais difíceis de controlar é a afiação. Uma afiação mal feita pode causar a produção excessiva de rejeitos ou, então, muitos finos, ambos responsáveis pela baixa qualidade da pasta.

Assim o processo de afiação é de vital importância no controle da qualidade, visto que os rebolos recém-afiados tendem a produzir uma pasta de qualidade inferior durante um período inicial. Após este período o desfibrador mantém sua qualidade enquanto a energia necessária para manter a produção, vai aumentando, em função do desgaste da afiação. Em determinado ponto, que deve ser determinado, o rebolo deve ser afiado novamente para normalizar sua condição de operação.

A determinação dos pontos de coleta de amostra e da frequência depende de cada processo. Algumas fábricas controlam a qualidade individual de cada desfibrador. Outras observam apenas a qualidade do produto final. Outras ainda apresentam os sistemas de controle de qualidade on-line, efetuando testes laboratoriais apenas para aferição dos instrumentos. Independentemente do tipo de estratégia adotada, temos alguns testes que são os mais utilizados:

- Grau de drenabilidade da pasta: pelo teste de Schopper-Riegler ou Canadian Standard Freeness;
- Classificação de fibras: Bauer-McNett ou Kaajani, principalmente para identificar o teor das frações mais grossas e finos;
- Alvura;
- Resistência à tração;
- Resistência ao rasgo;
- Teor de rejeitos (shives): sendo o mais comum o teste com o aparelho Sommerville.

A escolha dos testes deve ser feita baseando-se na influência da pasta produzida no produto final. Vários dos testes citados apresentam correlações entre si, válidas para cada tipo particular de pasta. Assim, pode-se avaliar o impacto da qualidade da pasta no produto final através de alguns poucos testes.

PARTE 03

CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE DEPURAÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Os sistemas de depuração são instalados para remover seletivamente certos constituintes ou contaminantes da polpa, de modo que o aceite seja mais adequado para a utilização prevista, ou seja a fabricação de papéis, cartões, etc.

As partículas removidas são descartadas ou concentradas em um sistema de rejeitos, com a mínima presença de fibras boas, de tal forma que poderão ser tratadas de modo a consumir a menor quantidade de equipamentos e energia.

2 - DEPURAÇÃO DE PASTAS MECÂNICAS

Um sistema de polpação mecânica consiste geralmente de um estágio primário e um secundário, ou tratamento de rejeitos. O estágio primário pode ser desfibramento ou refinação, enquanto o segundo estágio é sempre refinação. Em alguns sistemas, especialmente TMP o sistema secundário é seguido por seu próprio sistema de depuração.

As propriedades da polpa produzida num sistema de polpação mecânica são determinadas pelos dois estágios de polpação, em conjunto com os estágios de separação. Os estágios de polpação desenvolvem as características das fibras, enquanto os estágios de depuração garantem que somente a polpa aceitável vá para a máquina de papel e todos os componentes que requeiram maior tratamento vão para o sistema de rejeito.

O estágio de depuração consiste geralmente de depuradores (peneiras) e/ou cleaners (ciclones), geralmente os dois.

Para determinar a melhor configuração de depuradores e cleaners, conforme o produto desejado, é necessário observar atentamente o que deve ser removido da polpa desejada.

Os depuradores e cleaners atuam de forma diferente. Os depuradores separam os contaminantes primeiramente por comprimento, largura e flexibilidade e os cleaners atuam pela área específica, volume e densidade.

Em geral, depuradores operam muito bem na remoção de grandes shives e são menos efetivos sobre partículas pequenas, enquanto os cleaners tem pouco efeito em grandes shives, mas removem significantes quantidades de pequenos "chops" cúbicos e pequenos shives além de material inorgânico como areia e grãos das pedras desfibradoras.

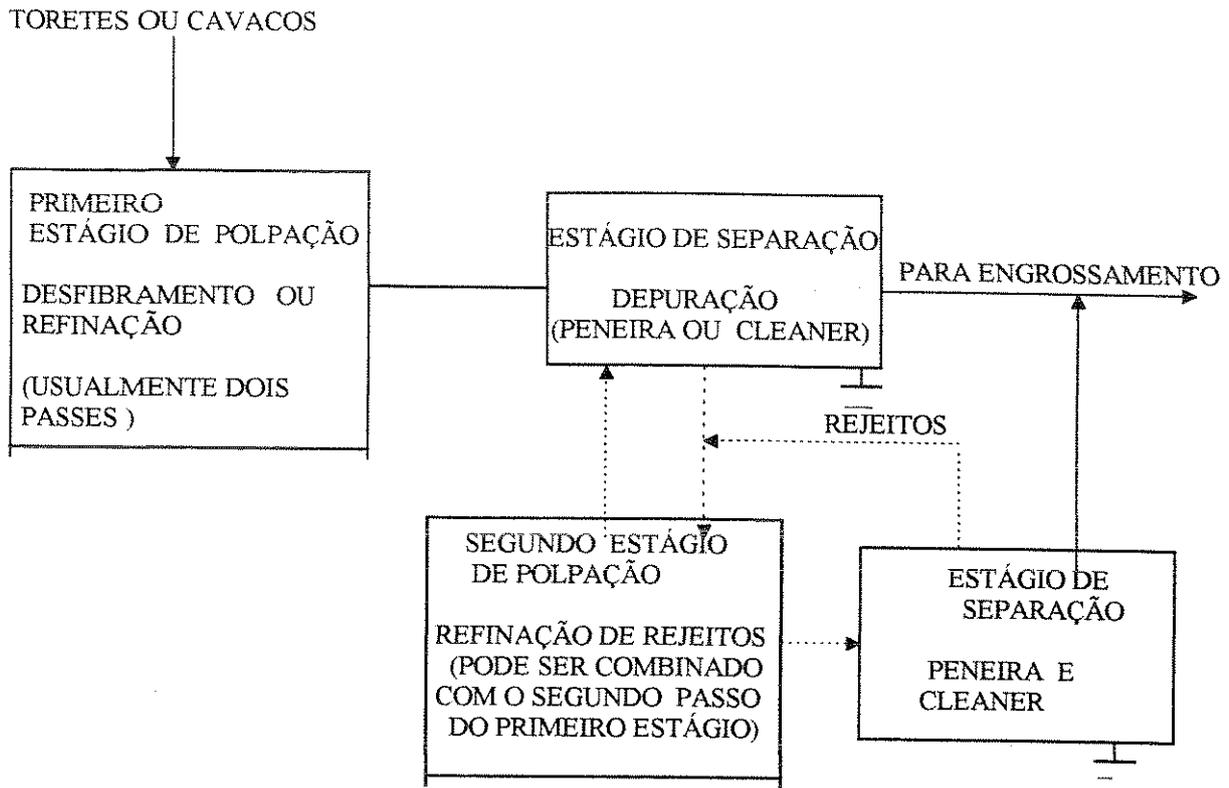


Figura.01 - Sistema de polpação mecânica

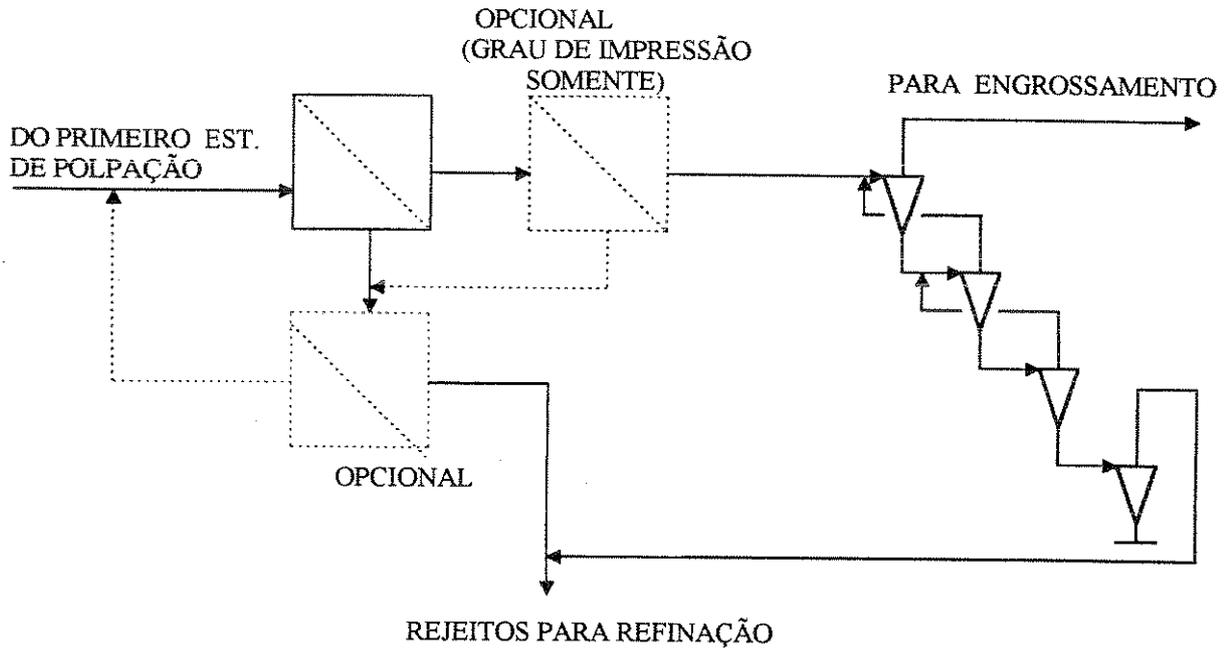


Figura.02 - Sistema convencional de depuração e limpeza

3 - CONSTITUINTES INDESEJÁVEIS NAS PASTAS MECÂNICAS

3.1 - Constituintes Gerais das Pastas

Estudos microscópicos demonstram que a pasta mecânica compõem-se de feixes de fibras (shives), fibras individuais, pedaços de fibras, pedaços laminares de lamela das paredes de fibras. Alguns materiais inorgânicos (pedra e areia) são também encontrados.

As fibras longas de pastas mecânicas têm características de ligação pobre, devido a pouca fibrilação externa e rigidez (pequena área de contato).

3.2 - Definição de Shives:

Segundo Clark : ≥ 3 mm de comprimento e 0,08 mm de largura;

Segundo Cowan : uma área projetada mínima de $0,7 \text{ mm}^2$ define um shive, e para medidas práticas, o teor de shives deve ser determinado medindo-se partículas com áreas superiores à $1,25 \text{ mm}^2$.

Os shives são considerados os grandes responsáveis por quebras úmidas motivadas por defeitos no papel (98,5%).

Na prática, por limitações dos equipamentos de análise, convencionou-se dividir o material rejeitado da pasta mecânica em três classes: shives, mini-shives e chops.

Rejeitos com comprimento abaixo do shives são chamados "mini-shives", ou seja, abaixo de 3 mm de comprimento e acima de 0,8 mm de largura.

Os "chops" são rejeitos cúbicos de comprimento de 0,25 - 1 mm e uma baixa relação comprimento/diâmetro.

Estes materiais têm como características gerais a rigidez e a baixa capacidade de ligação.

As fibras longas são necessárias para a resistência, assim é desejável separar o material longo, não fibrilado e refiná-lo para melhorar as características desejadas.

3.3 - Diferentes propriedades das frações de fibras de pasta mecânica:

a → Fração R 14 : fibras longas rígidas com pobres características de ligação.

b → Fração R 28 : esta fração das pastas apresenta fibras intactas ou quase, com uma considerável quantidade de fibras mais finas aderidas as mesmas. As fibras entre as frações 14-28 e 14-48 possuem dimensões semelhantes, diferenciando-se basicamente no comprimento.

As propriedades desta fração dependem da capacidade de ligação das fibras que é função da flexibilidade, fibrilação e a natureza química da superfície das fibras. A flexibilidade é indicada como o fator principal na capacidade de ligação.

c → Fração 28-48 : esta fração da pasta constitui-se de fibras quebradas e fragmentos de fibras.

d → Fração 48-100 (fração média): nesta fração temos principalmente fragmentos de fibras. A proporção de fibras curtas e delaminadas desta fração é determinante na qualidade da pasta.

e → Fração 100-200 : consiste basicamente de lamelas em forma de fita.

f → Fração menor que 200 (finos) : a fração de finos compõe-se de pedaços de paredes de fibras e lamela média. Também contém raios com pobres propriedades de ligação.

4 - PROPRIEDADES DESEJÁVEIS NOS ACEITES:

As dimensões e a quantidade de shives tolerados em uma pasta é função do produto final. Os papéis de impressão requerem maior qualidade que o papel imprensa (Newsprint).

Quanto mais leve o papel base, menos shives são tolerados e papéis base para revestimento (Couché) requerem uma pasta muito limpa.

Aumentando-se a fração R 28 geralmente aumenta-se a resistência ao rasgo, mas é importante que as fibras possuam boas características de ligação, que são dependentes da flexibilidade e da fibrilação.

Aumentando-se o comprimento das fibras da fração R 48, aumenta-se a resistência ao rasgo, uma vez que as fibras são mais flexíveis nesta fração. Fibras longas não refinadas reduzem a resistência à tração, porém parte da resistência a tração da folha depende da capacidade de ligação das frações média e fina.

Um excesso de fibras longas tem um efeito negativo em capacidade de ligação, lisura e coeficiente de dispersão de luz da folha.

O efeito da fração média (48-100) depende das características da mesma. Uma fração média bem refinada é importante para a resistência da folha.

A influência dos finos parece não depender muito das propriedades desta fração. Um teor mínimo de finos, por exemplo entre 25 a 30% é necessário para que a pasta tenha boas propriedades.

5 - MECANISMO DE SEPARAÇÃO DE MATERIAIS EM DEPURADORES:

O aceite ou a rejeição de fibras em um depurador é um caso de probabilidade e as características das fibras influenciam na probabilidade de rejeição.

5.1 - Velocidade e Força no Depurador :

a → Componentes da velocidade : as componentes são as velocidades axial, radial e tangencial (Ver fig. 03).

axial - na direção do eixo. Em um depurador centrífugo é a direção que o fluxo de massa percorre, da extremidade de entrada (alimentação) para extremidade de saída dos rejeitos. A velocidade axial forma ângulo de 90° com as aberturas da peneira;

radial - através dos orifícios da peneira;

tangencial - paralela à peneira, ao redor da circunferência da mesma. Também forma ângulo reto com os orifícios da peneira.

b → Velocidade Radial:

A área aberta da peneira normalmente está entre 12 e 23%. Para passar através de uma peneira, o fluido próximo à cada orifício deve convergir e acelerar na direção radial. Esta aceleração causa uma força de arraste que atua em todas as partículas próximas ao orifício ou ranhura (Ver fig. 04).]

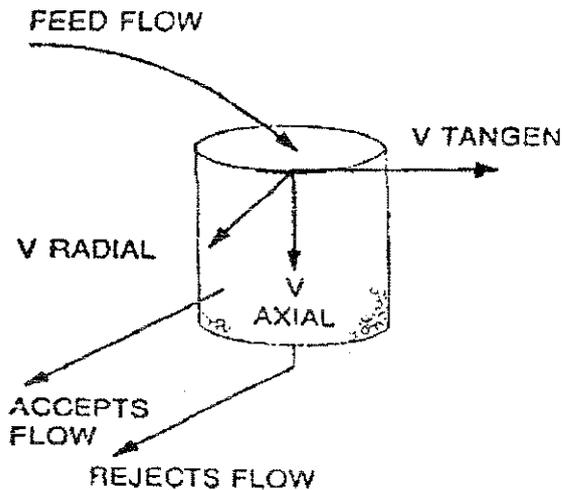


figura 03- Velocidades dentro de um depurador

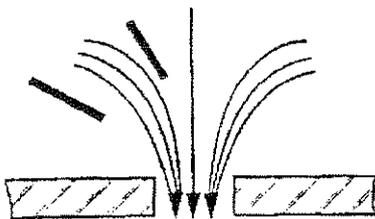


Figura 04 - Convergência e força de arraste do fluido

O efeito da aceleração do fluido é alinhar as fibras paralelamente ao fluxo. A velocidade de uma fibra é próxima à velocidade da água ao longo de seu comprimento. Esta tendência ao alinhamento aumenta a probabilidade de uma fibra rígida ser aceita se a velocidade radial for alta. Assim, para maximizar a eficiência de remoção, a velocidade radial deve ser restrita, projetando-se uma área aberta total adequada para a peneira.

c → Velocidade Axial e Tangencial :

Existem duas componentes de velocidade no plano da peneira, isto é perpendicular aos orifícios da peneira. Estas são as velocidades axial e tangencial. Juntas elas produzem a velocidade transversal. Caso a velocidade transversal seja excessiva a fibra, no seu movimento dentro da peneira, não chega horizontalmente aos furos.

A corrente do fluxo faz com que as partículas passem obliquamente pelas aberturas, não havendo tempo para ver a abertura de forma circular e sim de forma elíptica.

A alta velocidade transversal da massa, passando pelos furos, favorece a passagem dos finos e fibras curtas e dificulta a passagem das fibras longas.

Efeitos da alta velocidade transversal:

- Perda na eficiência da depuração
- Redução no percentual de fibras longas no aceite.
- Aumento nos volumes de água e massa no depurador, aumentando consumo de energia.
- Possibilidade de ter que substituir alguns equipamentos na instalação: (bombas, válvulas, motores, medidores, tubulações).

5.2 - Os Mecanismos da Separação:

a → Ângulo Crítico :

Uma partícula movendo-se simultaneamente através (radialmente) e ao longo (axial e tangencialmente) das aberturas em uma peneira, deve satisfazer algumas condições para passar através da mesma.

Primeiro, ela deve ter ao menos uma das dimensões inferior ao tamanho da abertura (Fig.05). Como mostrado na figura, a maioria das partículas são mais compridas que o diâmetro do orifício. Suas larguras e espessuras (ou diâmetros) entretanto, são geralmente menores que o diâmetro do orifício ou a largura da ranhura.

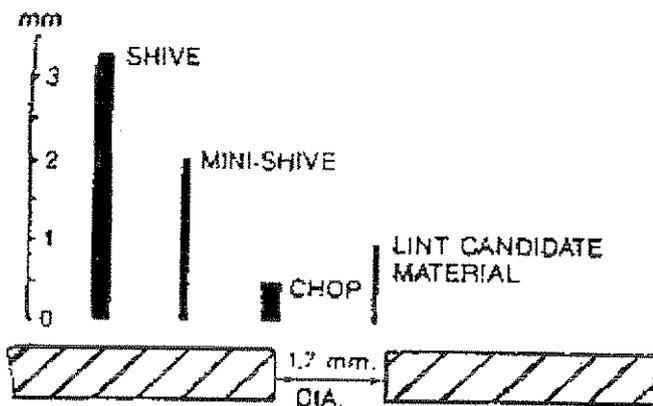


Figura 05 - Tamanhos de partículas e aberturas de peneiras.

Assim sendo, a maioria das partículas deve passar através dos orifícios no sentido do comprimento (longitudinalmente). Uma fibra flexível, entretanto, pode se adaptar à corrente do fluido e fluir através do orifício independente da orientação em sua aproximação.

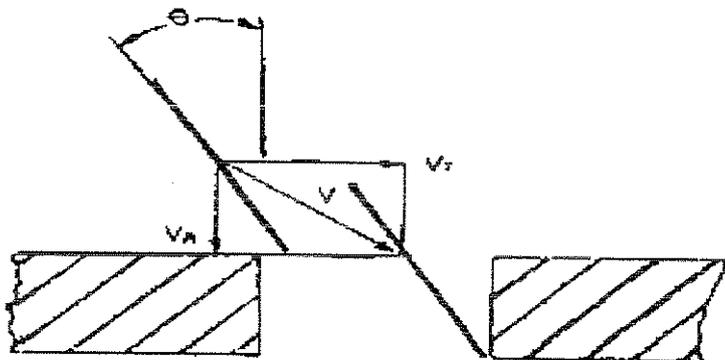


Figura 06 - Ângulo crítico de aproximação.

Na figura 6 vemos que para uma partícula rígida passar através de um orifício, ela deve estar orientada num ângulo com a vertical menor que o ângulo crítico. Para uma partícula completamente rígida o ângulo crítico depende:

- da velocidade através do orifício.
- da velocidade ao longo do orifício.

- do tamanho do orifício.
- da espessura da peneira.
- da espessura ou largura da partícula.

O ângulo crítico baseia-se na suposição que a extremidade dianteira da fibra deve passar através do orifício antes que ela entre em contato com o lado inferior do mesmo. Isto não é absoluto em função das várias forças que atuam sobre a fibra. A rigidez afeta esta probabilidade e o comprimento também. Assim, uma fibra longa e rígida não passará pelo orifício se sua parte posterior percorrer o diâmetro do orifício antes que a parte dianteira ultrapasse completamente o mesmo.

b → Força de Cisalhamento:

Em uma peneira centrífuga rotativa, a polpa adquire um movimento rotativo impulsionada pelo rotor, assim sendo, toda a polpa possui uma alta velocidade rotacional.

A folga entre as lâminas do rotor e a peneira neste tipo de depurador é tipicamente 12,7 mm ou menos, e a velocidade tangencial das lâminas (pás) é da ordem de 15 m/s.

De acordo com a figura 7, esta velocidade decresce conforme se aproxima da peneira.

Existe portanto um grande diferencial nos vetores velocidade entre as pontas das pás e os orifícios das peneiras. Este diferencial de velocidade gera grande força de cisalhamento, desde que o fluido deve desacelerar muito, num curto espaço de tempo e mudar de direção tangencial para radial.

Esta força de cisalhamento é o principal fator que previne o entupimento dos depuradores tipo Cowan. A maioria das peneiras pressurizadas emprega alguma forma de pulsação para prevenir o entupimento.

c → Alinhamento das Fibras :

O diferencial de velocidades e o cisalhamento resultante ao longo da zona de depuração, entre a pá do rotor e a peneira, atuam sobre as fibras, particularmente nas menos flexíveis.

Na figura 8 mostra-se o efeito do cisalhamento sobre a orientação das fibras. A velocidade tangencial da pá do rotor é geralmente 10 a 25 vezes maior que as velocidades radial ou axial. A força de cisalhamento é assim muito maior que a força de arraste radial do fluido.

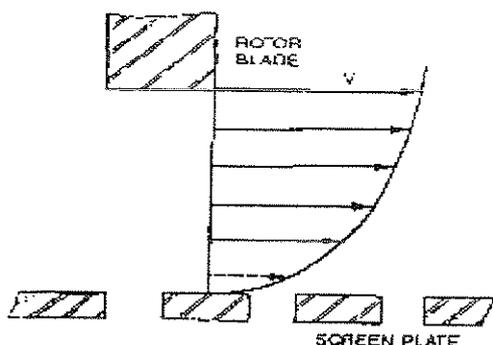


Figura 07 - Velocidade tangencial na zona de peneiração -Cowan

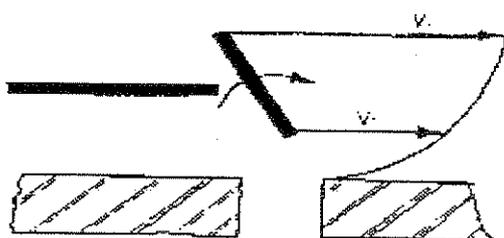


Figura 08 - Alinhamento das fibras devido à velocidade tangencial e força de cisalhamento

A força de cisalhamento produz um torque nas partículas que tendem a girar, até estarem paralelas à peneira, tal que a velocidade tangencial do fluido é igual em todos os pontos da fibra. Esta liberdade de alinhamento das partículas é limitada pela interação entre as mesmas, além da turbulência na zona de depuração que mantém as fibras em movimento.

O fenômeno do alinhamento é mais pronunciado em depuradores com rotores laminares (Cowan), porém também ocorre em pequena intensidade nos depuradores com foils. Apesar de possuírem velocidades do rotor 50-80% maiores que os laminares, os foils apresentam uma velocidade tangencial da polpa menor.

d → Tamanho Aparente do Orifício :

Os pesquisadores afirmam que a eficiência de depuração depende do "estreitamento efetivo" dos orifícios das peneiras causado pela velocidade no plano paralelo à peneira, ou seja, a eficiência é semelhante a aquela que seria obtida com orifícios elípticos. Os orifícios são efetivamente menores na direção da velocidade tangencial.

Estas afirmações estão de acordo com observações de depuradores com altas velocidades transversais, que atingem altas eficiências de separação utilizando grandes orifícios.

Na verdade, o efeito da velocidade tangencial é estatístico; os furos não diminuem de tamanho realmente. O diâmetro efetivo depende da combinação da velocidade radial das fibras através do orifício e da velocidade transversal ao longo do diâmetro do orifício.

Quanto maior a velocidade tangencial, menor o diâmetro efetivo do orifício.

A figura 9 mostra o que acontece com uma longa partícula rígida tentando passar através do orifício.

Para uma certa gama de velocidades, há um diâmetro de orifício mínimo necessário para aceitar uma partícula rígida.

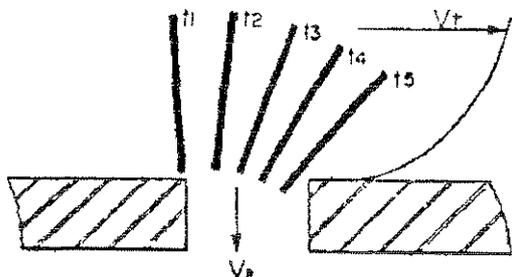


Figura 09 - Efeito da velocidade tangencial em uma partícula rígida na entrada do orifício da peneira

Desprezando-se o efeito da largura da partícula, o diâmetro do orifício necessário para aceitar uma partícula rígida de certo comprimento, aumenta linearmente de acordo com o aumento da velocidade tangencial.

Os shives são normalmente menos flexíveis que as fibras boas, porém não são totalmente rígidos. Existem uma série de forças atuando simultaneamente em um depurador, e a análise do comportamento individual das fibras é um caso complexo onde se aplica a física estatística.

e → Manta de Fibras :

Num depurador ocorre certo desaguamento da polpa, o que é caracterizado pela queda de consistência entre a alimentação e o aceite, se não se utiliza diluição interna.

Perto da entrada da alimentação, água e os finos fluem rapidamente através da peneira. Em um depurador Cowan, mais da metade do volume alimentado é aceite muito antes da metade do comprimento do depurador. Conseqüentemente, mesmo que água de diluição seja introduzida em algum ponto ou pontos ao longo do eixo do depurador, a polpa próxima à peneira é muito diferente daquela da alimentação.

Ela possui uma consistência e um freeness mais alto que a polpa na alimentação. Isto é devido à aceitação dos finos e fragmentos de fibras, e a retenção seletiva de shives e outros materiais grosseiros.

Esta espessa camada formada internamente à peneira é conhecida como manta de fibras. Cowan reportou a utilização da manta de fibras em um depurador Cowan para rejeitar partículas muito menores que os orifícios da peneira. Michael também descreveu este fenômeno em depuradores com rotores laminares. MacDonald reportou sobre um depurador com foils adaptado para utilizar a manta de fibras.

A espessa camada de material entre o rotor e a peneira atua em parte como um filtro. Partículas pequenas e chops que seriam aceites mesmo em altas velocidades transversais, são rejeitados.

Enquanto a polpa se move ao longo do eixo do depurador, água pode ser introduzida radialmente através do rotor para remover fibras boas da camada e controlar a consistência.

A camada espessa e com alta consistência, provoca um grande número de interações entre as partículas, restringindo assim seus movimentos apesar da turbulência.

O alinhamento das fibras e a alta velocidade tangencial promovem uma eficiente remoção dos shives e impedem o aumento da concentração dos shives na camada, o que aumentaria as chances de aceitação dos shives. Medidas realizadas mostraram que em um depurador Cowan, mais shives são aceitos na região de entrada, onde a polpa está sendo depurada, do que na região de saída dos rejeitos, onde a concentração de shives é maior.

Alguns pesquisadores discordam da teoria de formação da manta de fibras, dizendo que devido à turbulência criada internamente os efeitos da camada de fibra desaparecem.

6 - PROPRIEDADES DAS PARTÍCULAS QUE AFETAM A DEPURAÇÃO

a → Flexibilidade :

Em pastas mecânicas, os rejeitos são muito mais rígidos que o aceite, para um mesmo comprimento médio. Os shives de pasta mecânica são mil a um milhão de vezes mais rígidos que as fibras.

b → Comprimento :

Fibras com a mesma flexibilidade são rejeitadas em função do comprimento, mesmo com a orientação aleatória e com velocidade transversal zero.

c → Largura :

A largura é um importante parâmetro na separação, ainda que na prática seja difícil separar este efeito do efeito da flexibilidade, uma vez que partículas mais largas tendem a ser mais rígidas.

d → Área específica :

A polpa é arrastada pela água ao longo da superfície da peneira. Assim, as forças de arraste são maiores em fibras com maior área específica, facilitando sua aceitação comparando-se com outras de menor área, sendo as outras propriedades iguais.

e → Densidade:

Em um depurador no qual a pasta é girada por um rotor, uma força centrífuga é criada. Esta força age mais intensamente sobre partículas pesadas e água do que nas fibras. Como as diferenças entre densidades das fibras é pequena, as forças atuando em um depurador são muito maiores que a força centrífuga, fazendo com que a densidade não seja um fator importante.

7 - PARÂMETROS DE CONTROLE DA DEPURÇÃO:

Existem quatro parâmetros básicos que podem ser controlados e que irão afetar a eficiência de remoção de shives e o fracionamento da polpa. Eles são o tamanho dos orifícios ou ranhuras, a taxa de rejeito, a consistência da alimentação e diluição interna (quando existente).

A velocidade do rotor também tem uma grande importância sobre a qualidade da polpa e a capacidade do depurador, porém este é um parâmetro geralmente fixo.

a → Dimensão dos Orifícios ou Ranhuras:

A dimensão das perfurações não é um parâmetro variado constantemente, porém é perfeitamente possível trocar as peneiras de um depurador se a capacidade do mesmo, ou a qualidade da polpa produzida não é satisfatória.

Para um dado volume de polpa alimentado, a dimensão da furação da peneira é o parâmetro com maior influência sobre a capacidade e a qualidade.

O tamanho das perfurações deve ser selecionado considerando-se três critérios: processo de produção, espécie da madeira e qualidade necessária do aceite.

Processos TMP normalmente utilizam orifícios maiores que pasta de pedra, em parte porque o comprimento de fibra é maior com TMP.

Peneiras com Furos

Em geral, as peneiras de furos, são mais eficientes para reter estilhas longas e delgadas e partículas delgadas planas. As perfurações são geralmente cônicas para reduzir a tendência de entupimento.

Nas peneiras com furos cônicos, os mesmos facilitam que as fibras que consigam penetrar nos orifícios, possam escapar o mais rapidamente possível.

Quando depuramos a pasta em uma peneira com orifícios menores, a capacidade hidráulica é reduzida, mas em contra partida temos uma melhora na eficiência de limpeza.

Com a redução dos diâmetros, os orifícios ficam mais próximos e as fibras podem se prender em dois furos adjacentes, tendendo a entupir a peneira e provocar instabilidade da depuração.

Peneiras com Ranhuras (Slotted Screen)

Com o aparecimento de novas cestas ranhuradas a eficiência na depuração aumentou.

O grande desafio continuam sendo os "stikies".

A origem deste tipo de rejeito é de natureza bastante diversificada, apresentam características físicas totalmente diferentes, podendo ser planas, cúbicas, triangulares.

As peneiras ranhuradas são melhores para a remoção dos "stikies" devido ao seu formato tridimensional. As ranhuras medem entre 2" e 4" de comprimento e normalmente são, para sua melhor eficiência, projetadas na posição vertical.

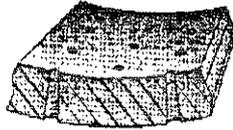
Furos versus ranhuras

Em geral, quando comparadas com as peneiras de furos, as ranhuradas possuem menor capacidade hidráulica.

Para se obter um resultado eficiente na remoção de vários tipos de impurezas devemos seguir certas recomendações básicas, tais como:



RANHURA LONGA
0.022" X 2.63"



FURO CIRCULAR
DIÂMETRO 0.079"

Tipo de impurezas



Palitos



Flocos



Partículas Cúbicas

FUROS: PARTÍCULAS CHATAS

- 1- flocos
- 2- palitos
- 3- aglomerado de fibras

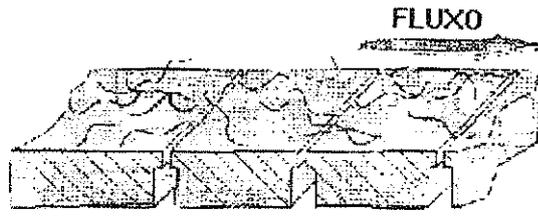
RANHURAS: PARTÍCULAS CÚBICAS

- 1- fragmentos de plástico duro
- 2- partículas de borracha
- 3- casca de madeira
- 4- sujeiras

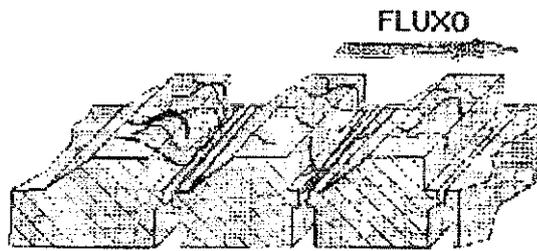
Impurezas de forma cúbica, grandes e relativamente rígidas bem como flocos, podem ser rejeitados por um furo.

Se as impurezas são menores que o tamanho do furo, maior é a probabilidade de entrarem no aceito. Dependendo do tamanho da ranhura, partículas de pequeno volume serão definitivamente rejeitos com maior eficiência por uma ranhura.

A tendência atual é utilização de perfis especiais (Fig. 10) tanto para peneiras perfuradas quanto ranhuradas. O efeito deste perfil é aumentar a turbulência a qual aumenta a capacidade. Conseguem-se também um menor fracionamento, menor razão de rejeito, operar a consistências maiores e maior tempo de vida das peneiras.



PENEIRA CONVENCIONAL



PENEIRA COM PERFIL

Figura 10: comparação entre peneira ranhurada convencional e com perfil PROFILE.

b → Taxa de Rejeito: Define-se como taxa de remoção de rejeito, a quantidade de fibras e impurezas retirada da câmara de resíduos, pela quantidade total da massa alimentada.

Eficiência da peneira depuradora é definida pela relação de rejeitos na alimentação com os removidos com o rejeito.

A eficiência é inversamente proporcional ao tamanho das aberturas. No início, o crescimento da eficiência é acentuado com o aumento da taxa de remoção, à partir de 30% de remoção o incremento da eficiência é quase nulo.

$$\text{Taxa de remoção de rejeito} = \frac{\text{Peso dos rejeitos}}{\text{Peso da alimentação}} \times 100$$

ou em depuradores sem diluição interna:

CA = Consistência do aceite, %

CE = Consistência de entrada, %

CR = Consistência do rejeito, %

$$\text{Taxa de remoção de rejeito} = \frac{\text{CR} \times (\text{CE} - \text{CA})}{\text{CR} \times (\text{CR} - \text{CA})} \times 100$$

$$\text{Eficiência de depuração} = 100 - \frac{\text{Peso dos rejeitos no aceite} \times 100}{\text{Peso dos rejeitos na alimentação}}$$

A fim de melhorar a eficiência de limpeza na depuração, pode-se forçar o aumento da percentagem rejeitada. Neste caso teremos os seguintes efeitos:

- Resistência ao estouro e a tração é crescente até um determinado percentual de rejeição.
- Resistência úmida é ligeiramente maior
- Resistência ao rasgo decresce

Seria necessária uma grande alteração na taxa de rejeito de um depurador para se conseguir um grande efeito na eficiência de depuração. Comparativamente uma pequena alteração nas dimensões da furação produziria um ganho semelhante.

No entanto, a taxa de rejeito é um parâmetro que pode ser constantemente alterado. Alguns autores sugerem que a taxa de rejeito é o principal parâmetro de controle para o operador.

A taxa de rejeito mássica depende de uma série de fatores como: teor de shives, freeness e consistência na alimentação, dimensão dos orifícios ou ranhuras, e abertura da válvula de rejeito (para depuradores pressurizados).

A taxa de rejeito mássica varia em função do teor de shives e o freeness da alimentação, mesmo fixando-se a posição da válvula de rejeito. A taxa de rejeito mássica pode ser alterada, variando-se a taxa de rejeito volumétrica.

A eficiência na remoção de shives aumenta em função da taxa de rejeito e o freeness do aceite é afetado pela mesma. Quanto mais seletivamente um depurador rejeita as partículas indesejáveis, menor a taxa de rejeito para se obter determinada eficiência. A comparação da eficiência de diferentes equipamentos deve sempre ser feita para uma mesma taxa de rejeitos.

c → Consistência:

A consistência afeta diretamente a eficiência da depuração e aumenta a capacidade de aceite. Para um determinado equipamento, há uma condição ótima de operação para cada tipo de massa.

Deve-se consultar o fabricante do equipamento sobre a faixa de consistência adequada e realizar experiências nas condições específicas da fábrica.

Para um depurador tipo Cowan, o aumento na consistência da alimentação provoca um aumento na taxa de rejeito, a menos que a vazão de água de diluição interna seja alterada. Para um depurador pressurizado este efeito não é direto pois a descarga é restrita (pressurizada). Para o depurador pressurizado, dentro do range normal de consistência de operação, a taxa de rejeito não é muito afetada. Porém, se a consistência é elevada muito acima dos valores normais, em algum instante a taxa de rejeito irá aumentar substancialmente.

Qualquer tentativa de reduzir esta taxa fechando-se a saída de rejeito irá apenas causar um aumento na consistência do rejeito e provavelmente um entupimento na linha.

As operações em consistências muito baixas limitam a capacidade e a eficiência dos depuradores. Consistências menores significam maiores volumes, e portanto maiores velocidades radiais. Isto resulta num aumento das forças de arraste através da peneira, e conseqüentemente na aceitação de mais shives. Como resultado final teremos maior quantidade de aceite com maior % de impurezas. Teremos ainda um rejeito mais puro, livre de fibras aceitáveis. O diâmetro dos orifícios e a taxa de rejeito podem compensar esta condição, porém às custas de uma redução de capacidade.

A sensibilidade às mudanças de consistência variam de depurador para depurador.

d → Diluição Interna:

Em um depurador Cowan, o aumento da água de diluição reduz a taxa de rejeito, inicialmente por arrastar mais fibras boas para o aceite. Um depurador pressurizado controla sua taxa de rejeito através de válvula e não depende de diluição interna para reduzir o teor de fibras boas no rejeito. A introdução de água de diluição radialmente funciona semelhante a uma válvula, dificultando o fluxo de rejeitos ao longo da peneira.

O uso de água de diluição em excesso reduz a capacidade de aceite, ocupando a capacidade volumétrica do depurador. Alguns depuradores utilizam a diluição interna para o controle da consistência dentro da peneira. Outros apenas para a diluição dos rejeitos.

Para facilitar o escoamento do rejeito em alguns tipos de peneiras pressurizadas, deve-se providenciar diluições nas áreas próximas à saída de rejeitos. Esta diluição necessita ser feita de maneira cuidadosa. A taxa de diluição constitui um meio de se controlar a taxa de remoção de rejeitos da peneira e manter estável o diferencial de pressão.

Se a taxa for abaixo do padrão, muita fibra aproveitável será rejeitada. Se for muito alta, considerável quantidade de sujeiras passará junto com o aceite.

O padrão de diluição no rejeito para uma consistência na alimentação de 1,40 à 1,80% deve ser inferior à 500 lpm.

8 - AVALIAÇÃO DA DEPURAÇÃO

A alteração na resistência à tração entre o aceite e alimentação dos depuradores é devido principalmente ao fracionamento. O aceite tem menor fração R28 e maior percentual de finos que a alimentação e, portanto, maior capacidade de ligação, lisura (menor aspereza) e coeficiente de dispersão de luz na folha.

O efeito do sistema de depuração depende grandemente do tratamento do rejeito. As fibras longas rejeitadas pelas peneiras e desenvolvidas pelo refinador de rejeitos tornam-se a maior fonte de resistência na folha final. Se todas as variáveis de operação estiverem constantes, qualquer aumento de impurezas na alimentação, resultará em maior teor de impurezas no aceite.

Estando em operação normal e todos os fatores envolvidos na depuração estiverem sob controle, a única variável que melhora a eficiência é o aumento da taxa de remoção de rejeito até um determinado valor.

9 - TIPOS DE DEPURADORES

A depuração tem por finalidade separar, da pasta de boa qualidade os cavacos, cavaquinhos, aglomerados de fibras e outros corpos estranhos. A importância da depuração é evidente, pois visa a uniformidade da massa e consequente continuidade operacional da máquina de papel. Considera-se que a limpeza da pasta é um processo de fracionamento, e que a redução da quantidade de material indesejável é em função do número e da sequência de estágios empregados.

Os principais tipos de peneiras empregadas são; vibratória, centrífuga por gravidade e pressurizada.

9.1 - Peneira vibratória Plana

A peneira vibratória plana é um dos tipos de depuradores bastante empregado e com boa eficiência na separação de rejeitos (Ver figura 11). Entretanto, o equipamento, por ser aberto, provoca perdas de líquidos.

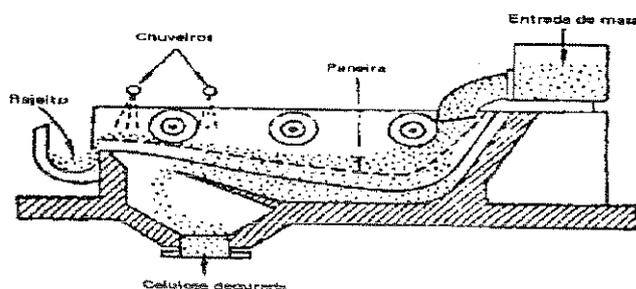


Figura 11 - Depurador de peneira plana

9.2 - Peneira Centrífuga

A peneira centrífuga (Ver fig.12) baseia-se no princípio de que as fibras aceitas tendem a estar completamente hidratadas e têm massa específica próxima da água. Deste modo, quando a suspensão de baixa consistência é girada na peneira, as fibras alinham-se em direção ao fluxo predominante, através dos furos circulares.

O material rejeitado, não hidratado por completo, tem menor massa específica, sendo carregado para o exterior da peneira.

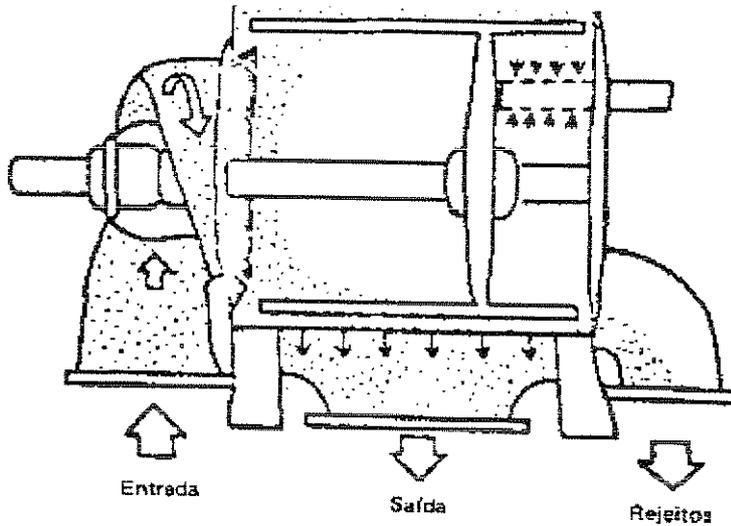


Figura 11 - Peneira centrífuga (Sund Impco)

9.3 - Depuradores pressurizados

É uma peneira, hermeticamente fechada, que trabalha somente quando cheia de pasta e sob pressão. (Veja figura 12).

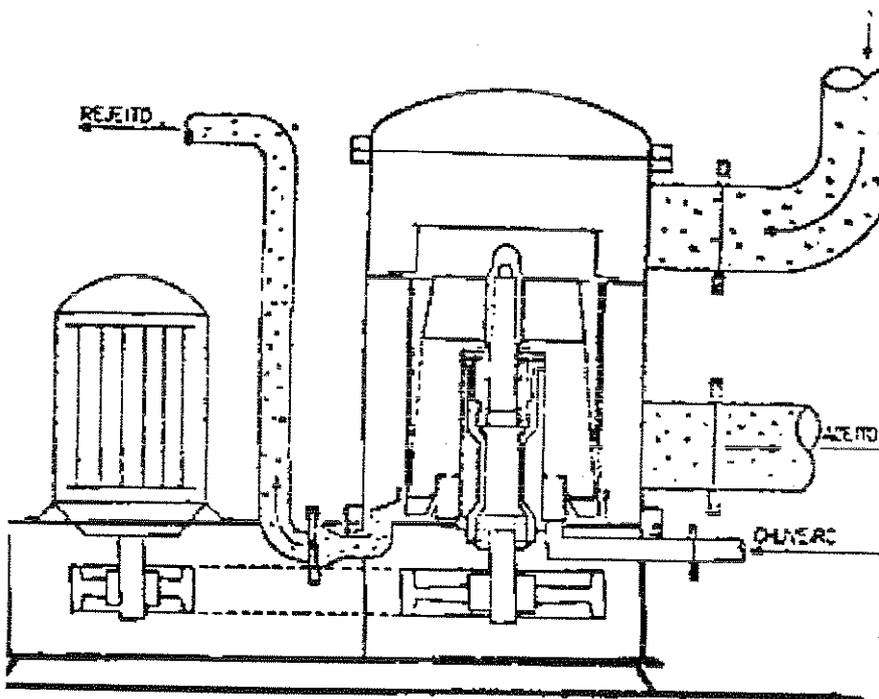


Figura 12 - Depurador pressurizado

9.4 - Limpador centrífugo

O limpador centrífugo (também conhecido com hidrociclone ou centricleaner) consiste de um cone invertido (Figura 14).

Os separadores centrífugos são utilizados principalmente para retirar da massa pequenas partículas de sujeira de alto peso específico, e cuja remoção seria muito difícil somente com emprego de peneiras (areia, ferrugem, etc.).

O princípio de seu funcionamento está baseado na diferença do peso específico das fibras e das impurezas a serem separadas pela ação da força centrífuga.

A suspensão fibrosa, contendo impurezas, é bombeada tangencialmente na parte superior do separador. Imediatamente, a suspensão desenvolve um movimento de rotação e assim, penetrando na parte cônica, as partículas descem numa trajetória espiralada em direção ao vértice e rapidamente adquirem aceleração uniforme.

A força centrífuga mantém as partículas mais pesadas próximo as paredes do cone.

A medida que o fluido se aproxima do vértice, o espaço disponível torna-se gradualmente menor, e a parte da suspensão mais afastada das paredes, a parte mais leve, reverte a direção do fluxo.

O material em suspensão ascende numa espiral em torno do eixo vertical do cone e é retirado como aceite na parte superior. O material pesado, que se concentra junto às paredes, acompanha a trajetória espiralada descendente até atingir o vértice do cone, de onde é recolhido como rejeito.

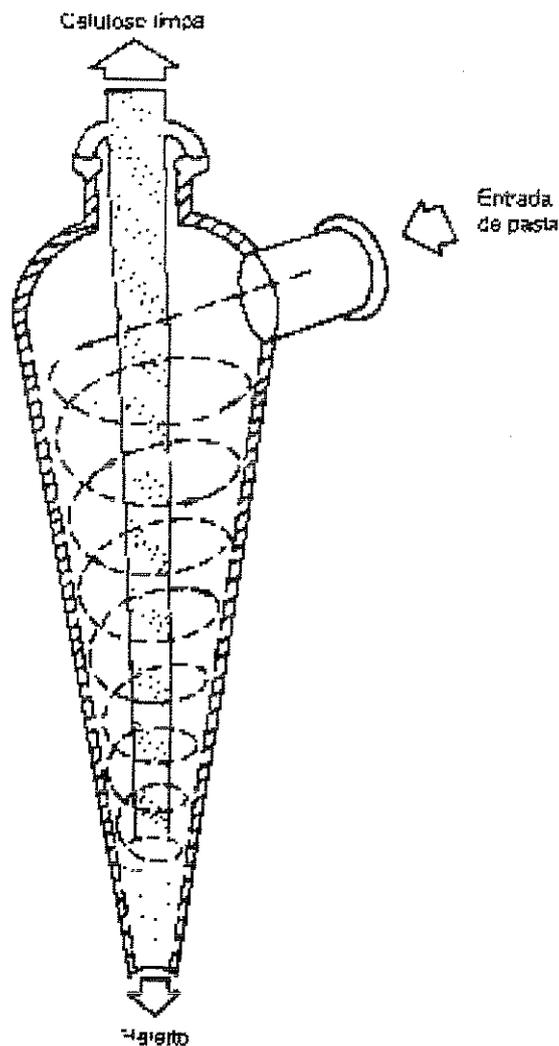


Figura 14 - Limpador Centrífugo

Principais variáveis de operação:

a) Pressão de entrada

A pressão de entrada determina a velocidade no tangencial (vórtice) e conseqüentemente, as forças centrífugas que influenciam a quantidade de separação. Esta pressão determina também a vazão ou fluxo. É necessário combinar um balanço econômico entre a qualidade da limpeza e produção. Separadores centrífugos menores, em geral, são mais eficientes. Pressões de trabalho variam de 0,2 à 3,0 Kg/cm².

b) Pressão dos Aceites

A pressão do coletor de aceites deve oferecer uma contra pressão mínima para não afetar a inversão das camadas centrais, prejudicando a eficiência.

Pressões de trabalho variam de 0,2 à 0,4Kg/cm².

c) Consistência de Entrada

Determina a densidade do fluxo. Quanto menor a consistência, menos fibras teremos e menor será a interferência destas com as impurezas, aumenta a eficiência de depuração.

Faixa de operação varia de 0,5 à 0,8%

d) Taxa de Rejeição

Unidades de alta eficiência, operando com remoção contínua de impurezas rejeitam entre 10 a 20% em peso do material da alimentação.

A taxa de rejeição é controlada pelo orifício existente no vértice do separador e pela pressão de alimentação da massa.

Quando há um aumento na pressão de alimentação, é necessário diminuir o tamanho do orifício do vértice do cone, para se conservar constante a taxa de rejeição. Por outro lado um orifício de diâmetro reduzido tem a dificuldade em aceitar todos os rejeitos. Não é recomendável operar com pressão elevada na saída dos rejeitos, porque aumenta a frequência dos entupimentos, visto que a consistência neste local aumenta facilmente.

e) Queda de Pressão no Separador

Para a máxima eficiência, o separador centrífugo deve ser operado de acordo com a sua capacidade de vazão de massa, o que conseqüentemente, resultará numa queda de pressão de acordo com o projeto.

As maiores quedas de pressão estão entre 2,4 e 3,4 Kg/cm², que são mais eficientes para retirar materiais de densidade pouco mais elevada que as fibras.

Quedas de pressão entre 0,3 e 1,0 kg/cm², são adequadas para remover impurezas de dimensões maiores e mais pesadas.

f) Associação de Separadores

Com um separador centrífugo pode-se conseguir uma separação adequada das impurezas, mas a quantidade de fibras arrastadas juntamente com os rejeitos, representa uma perda excessivamente alta. Por esta razão utiliza-se separadores em baterias de vários estágios, afim de minimizar a perda de fibras.

PARTE 04

CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE REFINAÇÃO

1- INTRODUÇÃO

A refinação poderia ser definida como uma operação de preparação da polpa, mediante a ação de um trabalho mecânico, modificando a morfologia das fibras e sua estrutura físico-química.

Esta definição, generalizada, contém os termos básicos que caracterizam a operação: a necessidade de aplicação de energia às fibras.

Recordemos, de uma maneira breve, a estrutura da fibra, formada por diversas camadas (figura 1) integradas pela parede primária (P) e parede secundária (S). A parede primária é muito fina e com uma estrutura pouco orientada. A parede secundária não é uma camada homogênea, já que é composta pela parede secundária exterior ou camada de transição (S1), a parede secundária principal ou média (S2) e a parede secundária interna, denominada também de parede terciária (S3). A parede secundária externa (S1) é formada por duas camadas de microfibrilas que giram em hélice em sentidos contrários, tendo esta camada uma capacidade de inchamento fraco. A parede secundária média (S2) contém a maior parte da celulose da fibra. É formada por microfibrilas orientadas em determinadas direções ao redor da fibra. Os ângulos que estas microfibrilas formam, estão diretamente relacionados com a resistência do papel e varia de planta para planta. A parede secundária interna (S3) é muito fina, similar a primária, e suas fibrilas estão dispostas em espiral.

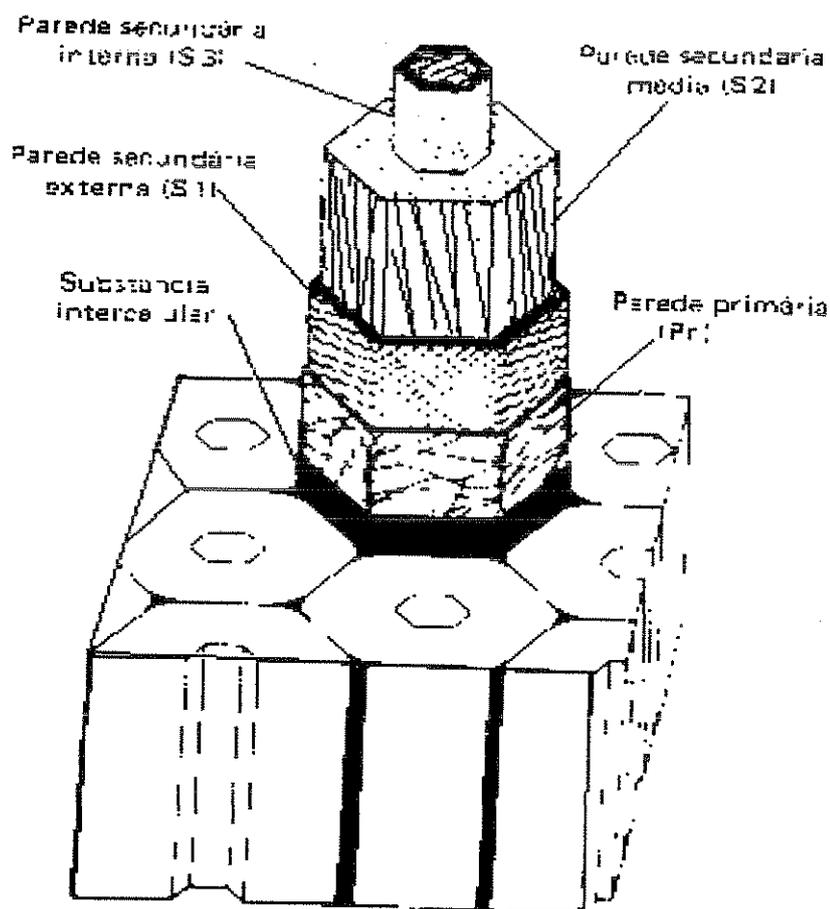
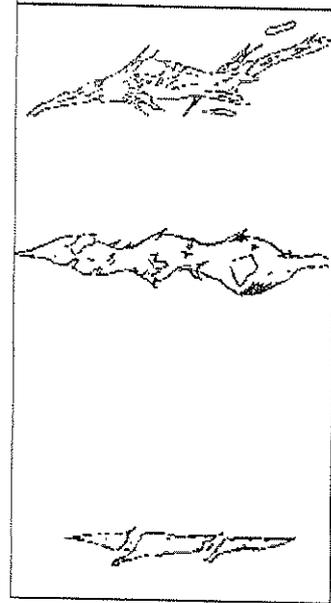
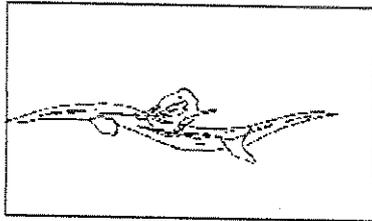


Figura 01 - Estrutura das fibras

2- RESUMO DA TEORIA DO PROCESSO DE REFINAÇÃO

Durante a refinação as fibras submetem-se à ação das lâminas e como consequência sofrem transformações físicas, de esmagamento, corte, fibrilação e hidratação. Estas transformações estão ligadas diretamente com as condições de trabalho e variáveis do processo. Podemos resumir as diversas etapas da refinação em:

a) Destruição da primeira camada protetora das células da fibra, acompanhada da fibrilação superficial das paredes.



b) Separação das fibras finas das partes de macromoléculas de celulose.

c) Liberação dos grupos de hidroxilas sobre a superfície externa da fibra, absorção de água e inchamento. Este processo colóido-químico denomina-se hidratação.

Sob a influência do esmagamento e da hidratação, as fibras ficam mais elásticas, condicionando assim um contato mais íntimo entre elas, dentro de um folha de papel e aumentando as suas forças de ligação.

Durante uma refinação suave da massa, predomina o processo de hidratação das fibras, enquanto que com uma refinação severa (pressão específica alta) predomina o processo puramente mecânico que conduz ao encurtamento das fibras.

Como as características físicas finais do papel em sua maior parte são ligadas diretamente ao comprimento das fibras, o corte é um acontecimento na refinação que devemos evitar, ou pelo menos atenuar.

3- EFEITOS DA REFINAÇÃO

3.1- Fibrilação Interna

Pode-se dizer que praticamente todos os grupos hidroxilas da celulose e das hemiceluloses estão ligados por pontes de hidrogênio. Quando a pasta é refinada, as pontes de hidrogênio existentes são rompidas e os grupos hidroxilas libertados se unem de novo, só que agora com moléculas de água, que entram na fibra devido a fibrilação externa.

A fibra sofre um inchamento cuja extensão aumenta quanto maior for a quantidade de água associada à fibra.

Durante a fabricação do papel, que nada mais é que a eliminação de água da suspensão de fibra, entre moléculas de fibras vizinhas, pode-se considerar a fibrilação interna como o efeito mais importante da refinação. A figura 2 ilustra ligações estabelecidas por pontes de hidrogênio.

3.2- Fibrilação Externa

Como consequência do arrancamento das camadas externas da fibra, as microfibrilas deixam de estar empacotadas, formando uma superfície aveludada em volta da fibra (figura 3). Estas microfibrilas são constituídas, principalmente, por hemiceluloses, possibilitando uma maior formação de ligações com fibras vizinhas.

3.3- Formação de Finos

A causa principal da formação de finos é o desprendimento das capas externas das fibras, especialmente (Pr) e (S1), e por microfibrilas.

Os finos formados durante a refinação são denominados de finos secundários. Os finos primários ou finos zero, estão presentes na polpa não refinada, consistindo de células radiais, parênquima e fragmentos de fibras muito curtas.

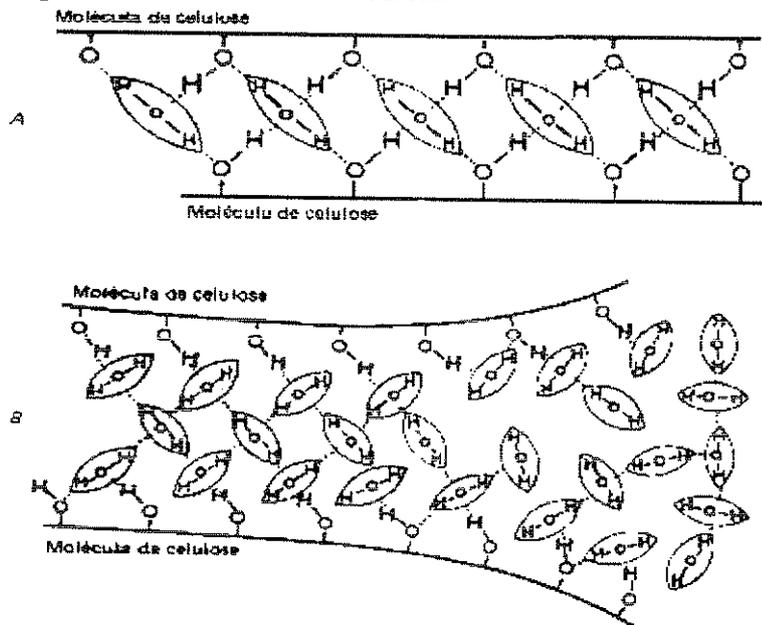


Figura 02 - Ligações por pontes de hidrogênio.

A- Através de uma camada de moléculas de água;

B- Através de várias camadas

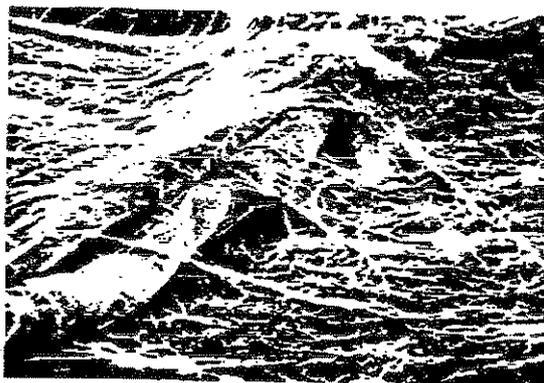


Figura 03- Fibrilação externa

3.4- Corte das fibras: O efeito de corte é causado pela ação das lâminas sobre a fibra (figura 04).

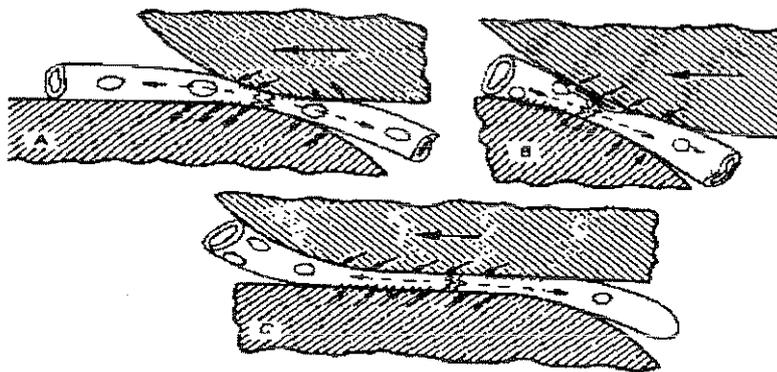


Figura 4 - Corte das Fibras - Ação de Corte

4- VARIÁVEIS NO PROCESSO DE REFINAÇÃO

Como foi dito anteriormente, durante a refinação ocorrem corte, hidratação e fibrilação nas fibras, mas a ocorrência de um tratamento mais que o outro dependem das variáveis do processo de refinação.

a) Variáveis do Sistema

1. Tipo de fibras;
2. Vazão e velocidade da massa no refinador;
3. Consistência;
4. Temperatura;
5. pH;
6. Pressão de operação (quando equipamento permitir).

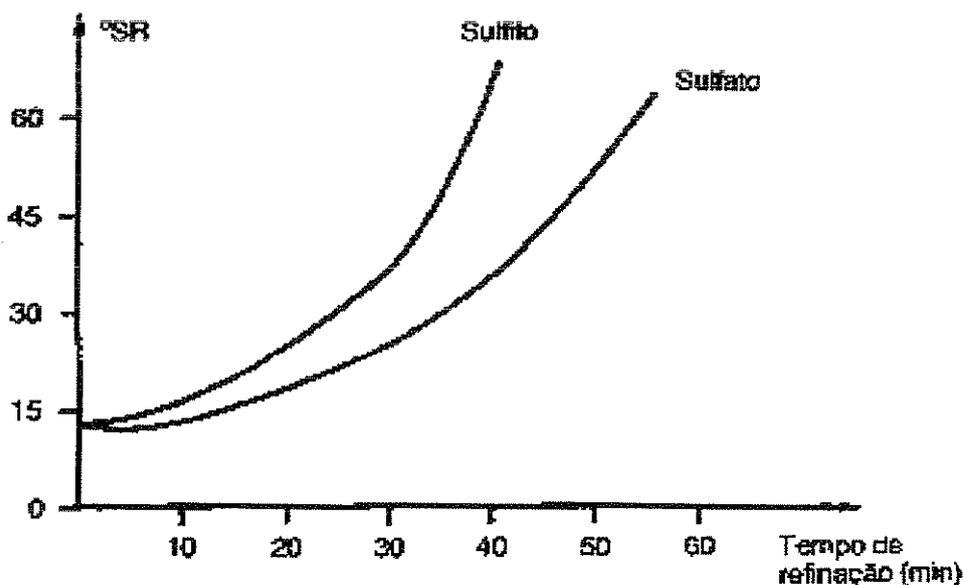
b) Variáveis da Máquina

1. Tipo de máquina;
2. Velocidade periférica;
3. Pressão específica;
4. Arranjo dos refinadores;
5. Área refinadora.

a) Variáveis do Sistema

1- Tipo de fibra

Quanto ao tipo de fibra depende da origem, tipo de matéria-prima, grau de cozimento, tipo de secagem, etc. A influência do cozimento, por exemplo: na operação de refino que está relacionada à quantidade de lignina e hemicelulose que foram eliminadas da pasta, é muito representativa. Só para termos uma idéia abaixo um gráfico comparativo de refinação de duas pastas produzidas por processos diferentes.



2- Vazão e Velocidade da massa no refinador

É da vazão que a velocidade de passagem da massa pelo refinador está diretamente ligada, pois com um mesmo aperto de disco, se aumentarmos a vazão a velocidade aumentará diretamente, visto que:

$$Q = V.A$$

Q = Vazão

V = Velocidade

A = Área de passagem

Portanto, uma maior refinação se consegue com uma retenção maior da massa na configuração dos discos ou cônicos.

3- Consistência

Para cada tipo de tratamento desejado na massa, deve-se escolher uma consistência adequada.

-Refinação em baixa consistência:

Quando se deseja um tratamento de corte nas fibras, a consistência adequada para se trabalhar a favorecer essa ocorrência deve girar em torno de 2,5 a 3,0%

Se o tratamento desejado for de hidratação e fibrilação, sem que ocorra o corte das fibras, a consistência de trabalho mais adequada gira em torno de 5,0 a 5,5% podendo chegar em alguns casos até 7,0%.

Podemos dizer que cerca de 90% das indústrias, trabalham com uma consistência neutra, 4,0 a 4,5%. Nesta faixa de consistência, o trabalho na fibra não favorece este ou aquele tratamento.

-Refinação em alta consistência

Experiências indicam que a melhor consistência para refinação de rejeitos está entre 25% e 30%, na entrada da zona de refinação. A energia aplicada é mais efetivamente utilizada em altas consistências e a vida útil dos discos é maior porque há uma menor erosão por água e uma camada de fibras mais uniforme entre os discos.

4- Temperatura

Por ser a refinação um processo mecânico, uma certa fração de energia consumida pelo refinador se transforma em calor por atrito entre fibras e lâminas, água e lâminas, o que provocará um aumento de temperatura da massa.

Com o aumento da temperatura as paredes externas das fibras vão se tornando cada vez mais difíceis de ser destruídas, portanto a dificuldade de hidratação e fibrilação de pastas em altas temperaturas tornam-se um inconveniente pelo alto consumo de energia que se requer.

Podemos notar esse fato quando temos instalados mais de três refinadores em série, pelo aumento de temperatura que a massa sofre ao passar por cada refinador os últimos refinadores da série recebem essa massa já com cerca, em alguns casos, de 60 a 70°C o que faz com que essas máquinas trabalhem com baixo rendimento.

5- pH

Ao contrário de temperatura, o aumento do pH facilita bastante a refinação, oferecendo um menor consumo de energia e um tratamento de fibra muito bom.

Ao trabalhar com a massa ácida, pH de 4,5 a 5, as fibras adquirem uma rigidez que além de consumir um pouco mais de energia do refino provoca uma incidência de corte de fibra bastante alto, ao passo que trabalhar com massa alcalina, pH em torno de 8 a 10, as camadas externas das fibras tornam-se mais fáceis de serem abertas, proporcionando uma hidratação muito mais rápida.

6- Pressão do refinador

Estudos recentes confirmam que o uso de refinadores pressurizados apresentam as seguintes vantagens:

Sob pressão o vapor possui menor volume específico, resultando em menor velocidade da polpa e vapor entre os discos e, conseqüentemente, tempo maior de residência. Com maior tempo de residência há maior aproveitamento da energia empregada no refinador conseguindo-se chegar a resultados semelhantes com menor consumo específico de energia.

Pode-se recuperar calor do vapor gerado na refinação. Aplicando-se 1000 kwh/tabs em uma polpa com 30% de consistência é gerado a aproximadamente 1100 kg de vapor por tonelada de polpa seca.

Em sistemas pressurizados o lay-out é simplificado, pode-se posicionar o refinador em nível inferior ao tanque de latência ou refinadores em série sem a necessidade de transportadores intermediários.

b) Variáveis da Máquina

1- Tipos de máquinas refinadoras

As máquinas refinadoras usadas até hoje podem ser classificadas em:

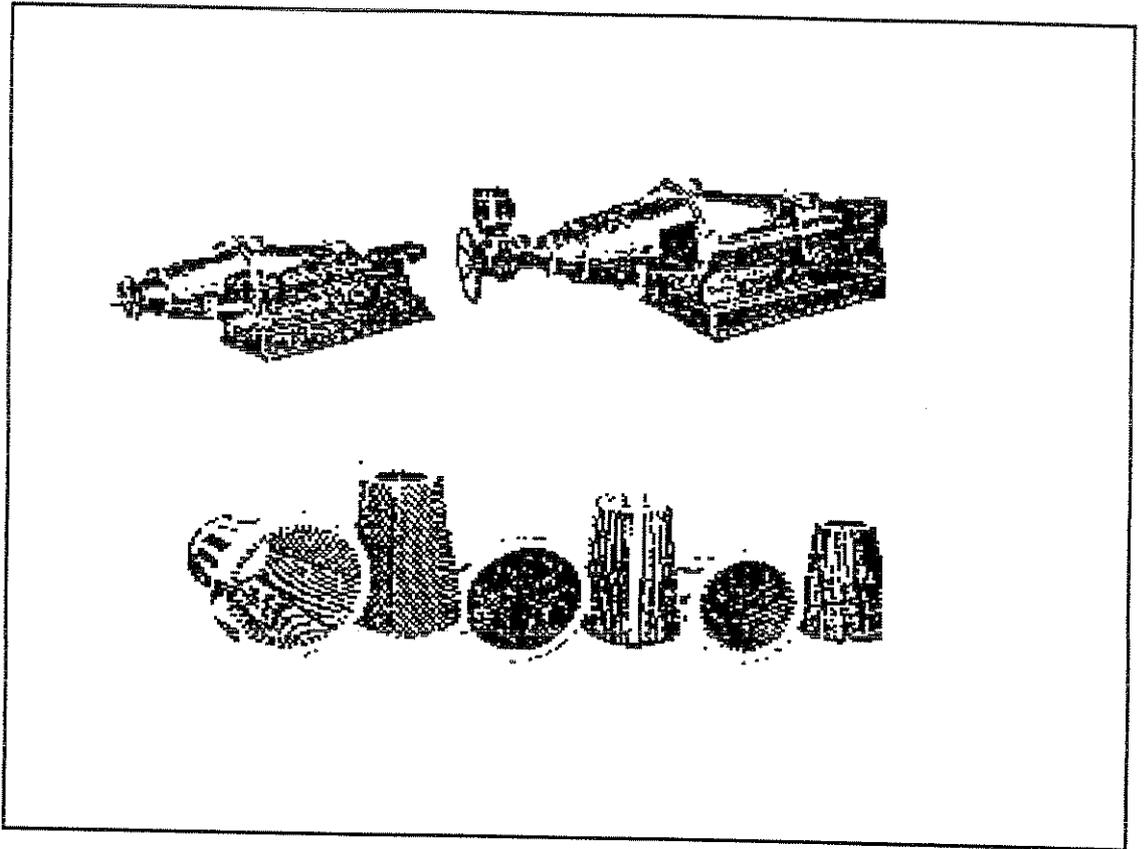
- a) Holandesas
- b) Cônicas
- c) Discos

a) Holandesas

São máquinas refinadoras de trabalho intermitente. O refino conseguido por elas é excelente pelo seu trabalho suave, consegue-se através delas uma boa hidratação e fibrilação. Porém, as desvantagens dessas máquinas superam as poucas vantagens de refino que elas nos proporcionam.

b) Refinadores Cônicos

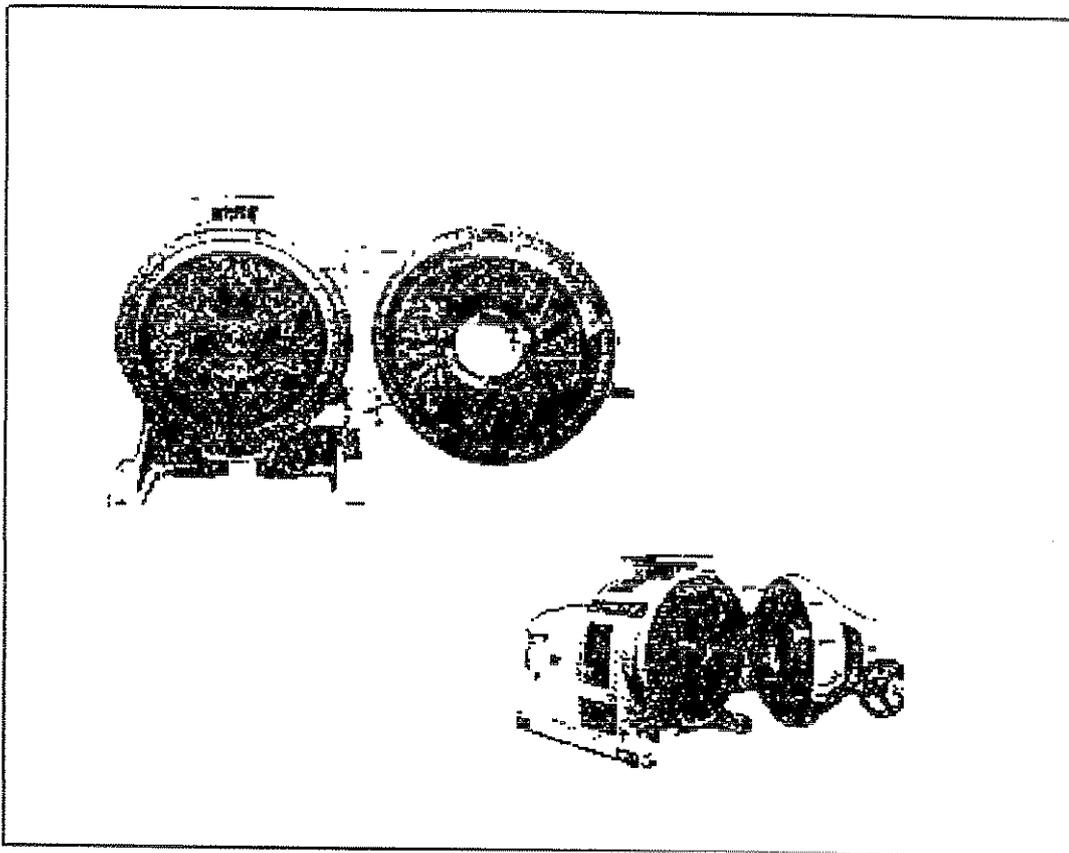
Com a modernização e a velocidade maior das máquinas de papel, a alta produtividade e economia



exigiram das engenharias o desenvolvimento de novo equipamento de refinação. Surgiram então os cônicos com revestimento com facas e madeira que foram pouco a pouco transformados para conjuntos cônicos soldados para aumentar a eficiência dessas máquinas. Hoje em dia apesar de seu consumo específico de energia ser bem menor que as holandesas, deixam muito a desejar. O tratamento conseguido com esses refinadores chega a ser bom se bem dimensionado.

c) Refinadores a discos

Das máquinas de refinação hoje em dia utilizadas os refinadores a disco são as mais modernas. Suas vantagens em relação aos cônicos e holandesas são inumeráveis. Existem dois tipos básicos de refinadores a disco, são eles os refinadores de disco simples e refinadores de duplo discos.



Refinadores de discos simples, são máquinas que possuem um disco rotativo e um disco fixo. A maior desvantagem desse tipo de refinador é que toda a carga axial de aperto dos discos é transferida aos rolamentos, causando desgaste e conseqüentemente aquecimento dos mesmos.

Refinadores de duplos discos são dotados de um disco rotativo de dupla face de refinação, e dois discos fixos, sendo que o disco rotativo colocado entre os dois discos fixos possui um movimento axial livre. Este tipo de refinador possui alto rendimento e suas características do ponto de vista mecânico são excelentes.

De modo geral podemos afirmar que os refinadores de duplo disco são as máquinas de refino de maior versatilidade e de menor custo operacional existente atualmente.

Vantagens dos refinadores a discos:

1. Pequeno espaço ocupado;
2. Menor custo operacional;
3. Requer menos tempo de parada para manutenção (troca de revestimento);
4. Menor consumo de energia;
5. Melhor tratamento de massa (corte, hidratação ou fibrilação).

2- Velocidade Periférica

A velocidade periférica é uma variável de suma importância, mas que pouco pode ser modificada pelo pessoal da indústria de papel, uma vez que o próprio fabricante especifica essa velocidade quando do dimensionamento do motor.

Com aumento da velocidade periférica, aumenta a hidratação e diminui o corte das fibras. Isso acontece pelo resultado do aumento do efeito batedor ou número de impacto das lâminas, sobre as fibras, ou seja, aumenta o comprimento da lâmina por segundo.

Para refinadores a discos esta velocidade periférica varia de 26-34 m/s, esta velocidade é calculada com a seguinte fórmula:

$$V_p = \pi \cdot D_e \cdot n$$

Onde: V_p = Velocidade periférica (m/s)

D_e = Diâmetro externo dos discos (m)

n = Rotação por segundo

3- Pressão Específica

Pressão específica ou potência aplicada por área de refinação podemos dizer que é a pressão com que são apertados os discos, e é dessa pressão que temos uma maior severidade de refinação ou não.

Altas pressões específicas proporcionam um aumento de grau de refino rápido sacrificando a qualidade da massa, isto porque as fibras são submetidas a um tratamento de corte e uma fibrilação externa muito forte, produzindo uma grande quantidade de finos.

A razão porque a incidência de corte acontece com pressões específicas altas é a de não formar o colchão de massa entre os discos e não mais haver contatos íntimos entre as fibras.

Baixas pressões específicas proporcionam uma refinação mais suave com um aumento gradual do grau de refino mantendo os comprimentos das fibras originais, hidratando e fibrilando sem prejudicar e sem criar finos.

4- Arranjo dos refinadores

Existem inúmeras formas de instalar Refinadores.

As que mais se destacam, dependem do tipo de trabalho.

- Trabalho descontínuo (por cargas ou bateladas)
- Trabalho contínuo.

CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE REFINAÇÃO

No trabalho contínuo cabe destacar dois tipos de instalações:

- Em série
- Em paralelo

Vantagens e desvantagens do sistema em série e paralelo:

| SÉRIE | |
|---|--|
| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
| - Pressão específica menor (fibras passam por mais de um refinador) | - Aumento da temperatura em cada refinador |
| - Grau de refino pode ser melhor controlado | - Maior cuidado no controle |
| - Recomendado para altos graus de refinação | - Não recomendado para baixo grau de refino e alta produção. |

| PARALELO | |
|--|--|
| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
| - Maior facilidade de controle | - Dificuldade em obter uma boa divisão de fluxo |
| - Maior retenção da massa (fluxo dividido) | - Maior pressão específica (potência aplicada por área de refinação |
| - Altas produções e baixo grau de hidratação | |

5- Desenho da área refinadora

Das variáveis do processo de refinação pode-se dizer que a configuração da área refinadora é a variável de maior complexidade devido as diversas alternativas que nela existe.

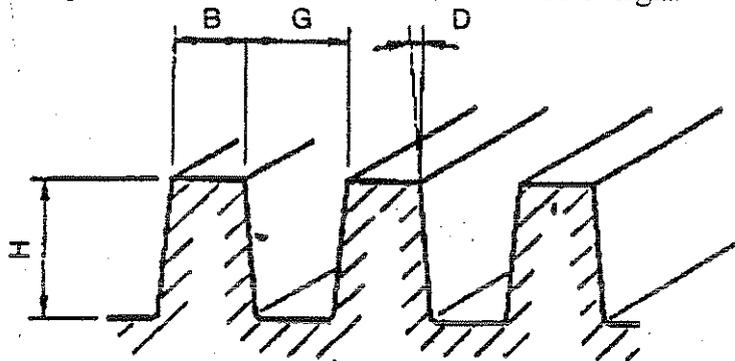
As variáveis que influem o desempenho de uma área refinadora são as seguintes:

- a) Espessura das lâminas e espaços entre elas;
- b) Ângulo de inclinação;
- c) Ângulo de intersecção;
- d) Fechamento entre as lâminas;
- e) Material da lâmina.

a) Espessura e espaçamento

A espessura da lâmina está limitada pela resistência do material. O espaçamento mínimo das lâminas é limitado pela ocorrência de entupimento.

Com a redução da espessura das lâminas e espaçamento entre elas, ocorre um aumento do número de arestas para uma mesma potência aplicada, o que provoca um maior número de impactos sobre a fibra, fazendo com que a massa atinja o grau de refinação desejado em menor período de tempo, conseqüentemente diminuindo o consumo de energia.

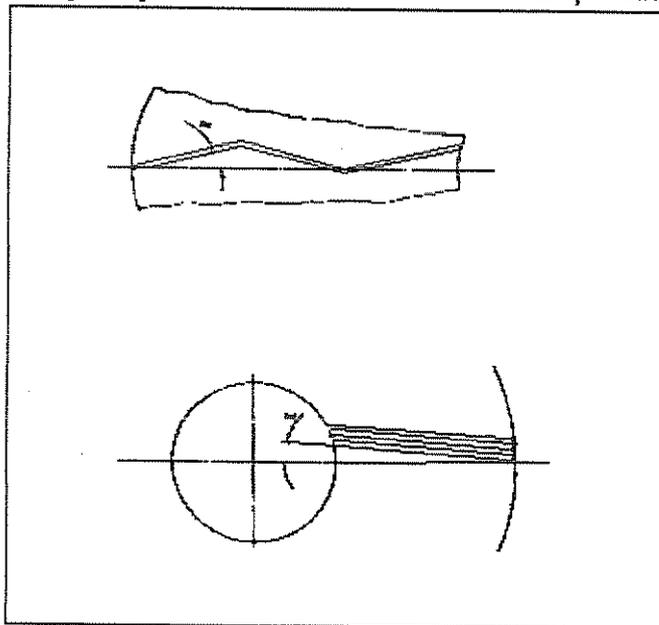


- H = Altura da lâmina, height of bar or groove deph;
- B = Espessura da lâmina, bar width;
- G = Espaçamento entre lâminas, groove width;
- D = Ângulo de borda, draft.

b) Ângulo de inclinação das lâminas

Em um revestimento cônico, o ângulo das lâminas é o ângulo que a direção das lâminas formam com a linha de centro do eixo do rotor.

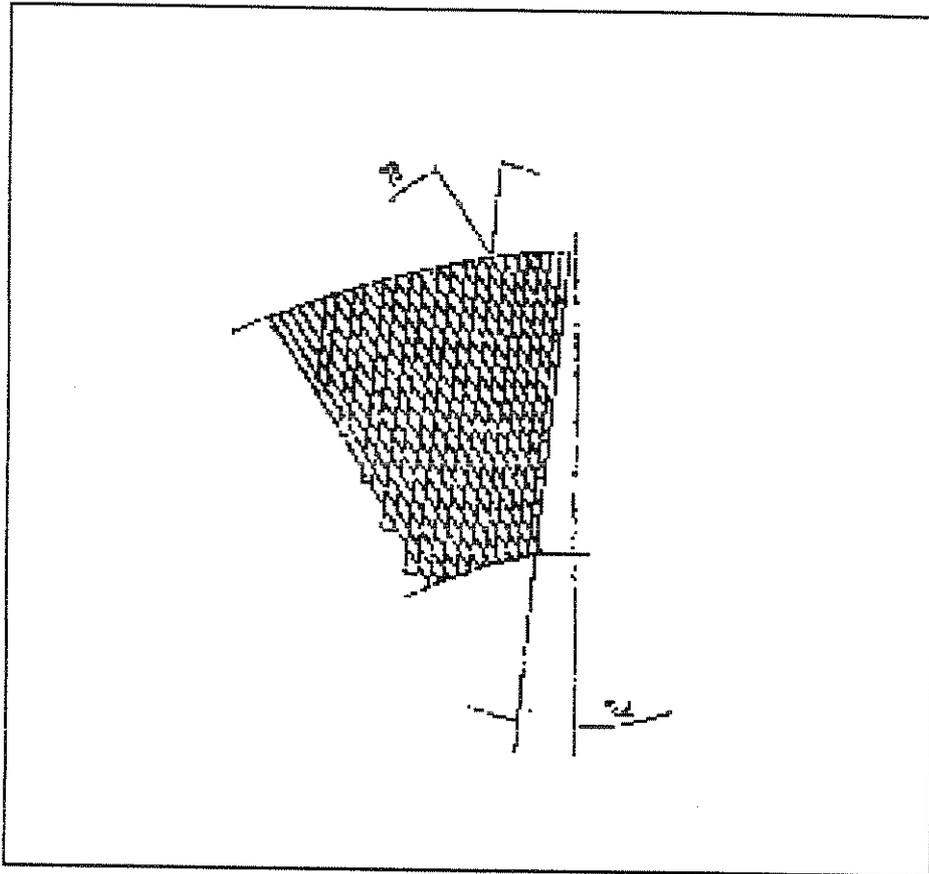
Nos discos é o ângulo que as lâminas formam com a direção radial do disco.



Lâminas com maior ângulo de inclinação produzem mais fibrilação e menor corte na fibra, fornecendo massas com melhores propriedades físicas.

c) Ângulos de Intersecção das Lâminas

Ângulo de intersecção de lâminas ou ângulo de corte é o ângulo formado pela intersecção das lâminas do rotor e estator no caso dos refinadores cônicos, ou do disco rotativo com o fixo no caso dos refinadores a disco.



Como todo o trabalho de refinação é realizado nas arestas das lâminas, o ângulo de intersecção das lâminas tem função de extrema importância, visto que diz respeito ao ângulo com que as fibras vão ser atacadas.

Grandes ângulos de intersecção favorecem a hidratação e fibrilação, pequenos ângulos favorecem o corte das fibras.

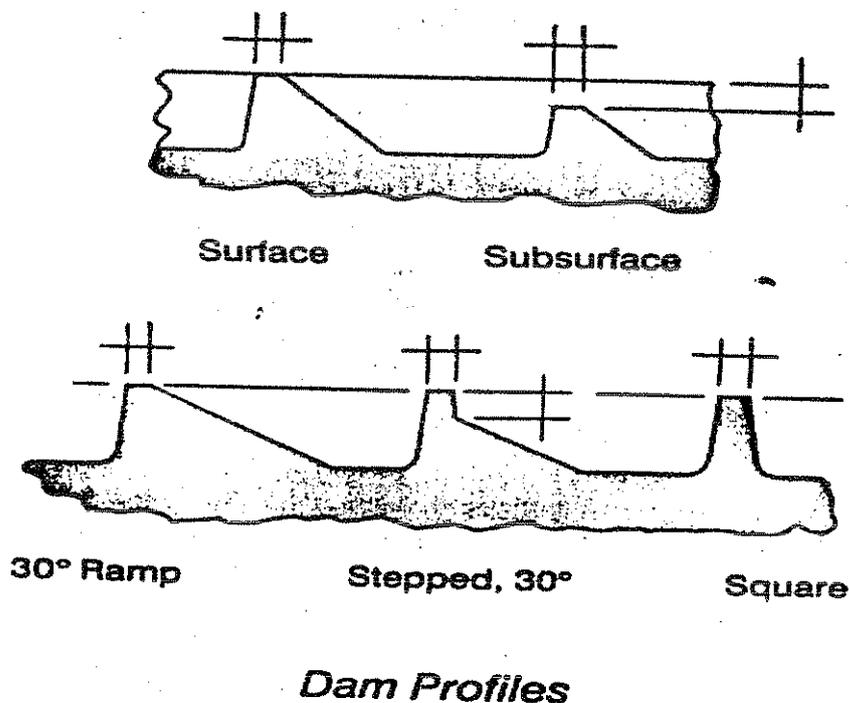
Exemplo: Um jogo de discos que possui 12 setores nos discos com lâminas inclinadas a $+ 7^{\circ} 30'$ nos discos fixos e rotativos possui um ângulo de intersecção médio de 45° . Um outro jogo de discos que possui 12 setores com lâminas inclinadas a 5° nos discos rotativos e 10° nos discos fixos, possui um ângulo de intersecção médio de 45° também.

d) Fechamento entre lâminas

São utilizados fechamentos entre lâminas principalmente para aumentar o tempo de retenção das fibras nos discos, e para diminuir a ação de bombeio do disco rotativo.

Os elementos que realizam este fechamento são chamados "DAMS", e podem ser superficiais ou sub-superficiais (ver figura).

A quantidade, o tipo e a localização dos dams dependem de cálculos da velocidade da massa entre os discos durante a operação e da intensidade de refino que se deseja.



e) Material da lâmina

As lâminas para refinadores podem ser obtidas pelos seguintes processos mais usuais:

- Discos usinados como é o caso dos discos frezados;
- Discos fundidos;
- Discos com lâminas soldadas.

O processo mais econômico e versátil de fabricação de disco é o processo especial de lâminas soldadas.

As lâminas podem ser de aço inoxidável ou carbono. Normalmente a fabricação é feita com lâminas de aço inoxidável austenítico da série AISI-300.

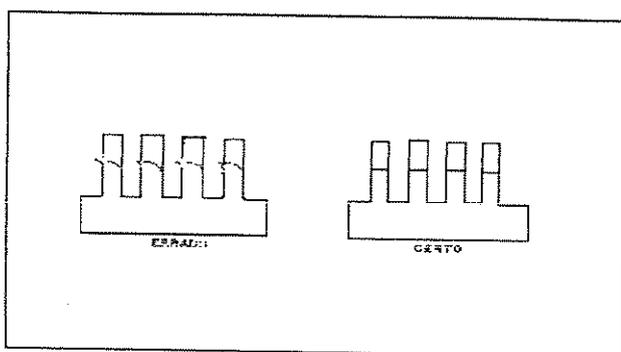
As lâminas não são tratadas termicamente. A dureza das lâminas se obtém por compactação progressiva a frio; atingindo-se 400 a 500 pontos Brinell.

Este sistema permite fabricar revestimentos para qualquer tipo e tamanho de refinador com áreas refinadoras formadas por lâminas a partir de 2 mm de espessura.

Deve-se considerar também que as arestas das lâminas são mais estáveis por se tratar de aços relaminados, detalhe que não sucede nos disco fundidos, uma vez que nesse caso as arestas são geralmente deterioradas pelo desprendimento de cristais de carbono da fundição.

Portanto para se conseguir sempre um bom rendimento de refinação, os materiais de construção das lâminas tem que ter uma certa dureza e se comportar com um desgaste constante sem formação de rebarba e arredondamento das arestas de trabalho.

CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE REFINAÇÃO



| VARIÁVEIS NO PROCESSO DE REFINAÇÃO | | SEPARAÇÃO ROMPIMENTO DEJASTILLER | FIBRILAÇÃO | CORTE COUJE |
|------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| LÂMINAS | 8 mm ou maior 6,35 mm média 4 mm ou menor | Max Med Min | Min Med Med | Min Med Max |
| ROTOR PASSO NAS LÂMINAS | MAIOR MENOR | Max Min | Max Min | Min Max |
| ESTATOR PASSO NAS LÂMINAS | MAIOR MENOR | Min Max | Min Max | Max Min |
| ÂNGULO DE INTERCESSÃO | MAIOR MENOR | Min Max | Med Max | Max Min |
| VELOCIDADE | BAIXA MÉDIA ALTA | Med Max Max | Med Max Med | Max Med Min |
| CONSISTÊNCIA | BAIXA MÉDIA ALTA | Min Med Max | Med Med Max | Max Med Min |
| PRESSÃO ESPECÍFICA | BAIXA MÉDIA ALTA | Med Max Min | Min Max Med | Min Med Max |
| MIN- MÍNIMA | | MAX-MÁXIMA | MED-MÉDIA | |

5- DESGASTE DOS DISCOS

Abrasão: Desgaste por abrasão ocorre quando o disco entra em contato físico com uma substância abrasiva. Abrasão é causada pela própria abrasividade das fibras, ou por areia, pedra, plásticos, aditivos, e outros materiais presentes na polpa. Estas formas de abrasão tendem a desgastar gradualmente o disco.

Abrasão também ocorre quando um dos discos entra em contato com o outro. Nessas condições, o desgaste é altamente acelerado - em alguns casos, quando o contato é violento, as barras podem ser quebradas.

Toque dos discos podem ser causados por diferentes condições:

- Taper do disco impróprio;
- Desenho do disco impróprio;
- Interrupção na alimentação de polpa;
- Variação da consistência;
- Instalação de plantas inadequadas;
- Operação errada do refinador.

Cavitação: É causada quando os discos do refinador são submetidos a formação e colapsamento de bolhas de vapor ao longo da superfície. Este fenômeno é associado com áreas de queda de pressão, usualmente quando o fluxo de fluido é interrompido. Um fenômeno associado é colisão de gotas, o qual causa erosão pelo impacto repetitivo sobre a superfície.

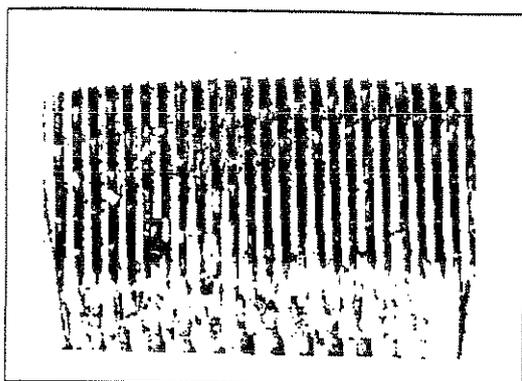
Os dois fenômenos levam a formação de profundos buracos, ou cavitação, na parte inferior da superfície do material.

A quebra da seção das barras quebradoras do disco é causada por condições que propiciam a cavitação (figura 05). No entanto, este efeito não é particularmente prejudicial à performance do disco. Cavitação ao longo das barras e da periferia do disco é mais prejudicial. Este efeito, como mostrado na figura 06 é causado por cavitação em combinação com erosão e corrosão localizados.

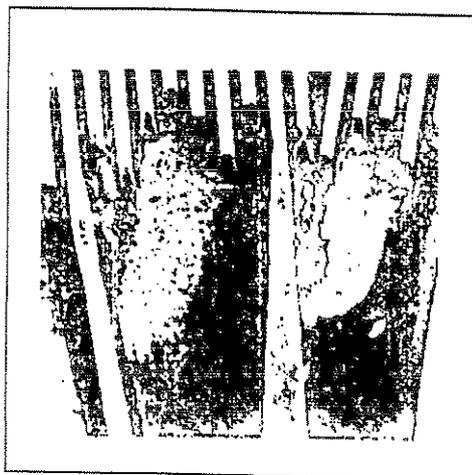
Corrosão: Corrosão é uma ação química que gradualmente destrói os metais do disco. Isto é sempre um fator de desgaste do disco, geralmente em instalações que envolvem polpação química ou fibras branqueadas.

Este problema nunca foi eliminado. Corrosão pode ser controlada pela limitação dos níveis de pH da polpa, e por uso de ligas com alta resistência a mesma.

Corrosão, frequentemente, ocorre em fendas criadas por cavitação como já descrita. A chamada corrosão de fenda é uma das mais frequentes formas de corrosão e, sob determinadas condições, pode progredir muito rapidamente. Assim, uma vez aberta a superfície pela cavitação, o processo de corrosão continuará.



Cavitação



- Cavitação/Erosão/Corrosão



- Ataque Químico

causa de desgaste do disco, erosão, é causada por água e vapor.

Erosão por vapor é difícil de diferenciar da erosão por água. No entanto, discos com dams na superfície, minúsculas fissuras, as vezes, podem aparecer nos dams - e isto é resultado de erosão por vapor.

Reduzindo-se a Cs da polpa é um método para minimizar erosão por vapor. Mas isto, pode reduzir a qualidade da polpa. Usando água fria no processo é outra solução. Isto reduz a geração de vapor.

Erosão: a maior

6- REFINAÇÃO EM ALTA CS

1- O que é alta consistência:

Normalmente considera-se alta consistência aquelas superiores à 20%.

O ideal para refinação são valores entre 27 e 30%.

Por convenção considera-se média consistência os valores de 10 a 20% e baixa consistência os valores entre 3 e 5 %.

2- Vantagens da refinação em alta consistência:

Para um mesmo CSF consegue-se melhor qualidade na refinação em alta consistência, isto significa que para mesma energia aplicada temos:

- Menor quantidade de shives;
- Maior índice de tração;
- Maior índice de rasgo.

3- Mecanismos da refinação em alta consistência:

Maior intensidade de refino devido à maior velocidade: 1800 RPM em alta consistência contra 514 RPM em baixa consistência, e à configuração dos discos com barras e espaçamentos entre barras mais estreitos.

A alta consistência permite um maior contato entre fibras, minimiza a ação de corte e as fibras são desenvolvidas para maximizar a área de ligação.

A refinação em alta consistência é mais eficiente em pastas de alto rendimento onde o objetivo é a remoção de rejeitos (shives) e o desenvolvimento da resistência.

A refinação em baixa/média consistência é mais eficiente em polpas de baixo rendimento, mais limpas, onde são necessários o controle do comprimento das fibras e um desenvolvimento moderado da resistência.

7- REFINAÇÃO DE REJEITOS DE PM

Introdução

O projeto de um sistema de rejeitos é um aspecto importante de qualquer sistema de pasta mecânica. As características principais de um bom sistema de rejeitos são: potência instalada adequada, volume de alimentação uniforme, capacidade de refinação a alta consistência e uma concentração de shives no material alimentado ao refinador.

Assim, é importante que o sistema de depuração seja capaz de produzir o rejeito com a maior concentração possível de shives, com um mínimo de fibras boas e limitando a recirculação de polpa entre os depuradores e a refinação.

Normalmente nas pastas mecânicas de pedra têm-se uma taxa de rejeito da ordem de 10 %, aplicando-se aproximadamente 1000 kWh/t. Os sistemas de pasta de refinador (RMP, TPM, CTMP) produzem uma quantidade maior de rejeito, da ordem de 20 a 30% para garantir a remoção de material não fibrilado, e utilizam um consumo específico na refinação de 1200-1400 kWh/t.

Componentes chaves de um Sistema de Tratamento de Rejeitos

1- Tanque Pulmão de Rejeito

Um tanque pulmão de rejeito não refinado com grande capacidade de estocagem é necessário para suportar variações no processo que provoquem geração excessiva de rejeitos, como entupimentos de depuradores, etc.

O fluxo de saída do tanque deve ter consistência controlada, da ordem de 3 a 4% para garantir um bom funcionamento dos equipamentos de desaguamento.

2- Engrossadores ou Desaguadores

Existe uma série de equipamentos disponíveis para o desaguamento ou engrossamento da pasta. Os dados e a experiência disponíveis indicam que a melhor consistência para a refinação de rejeitos situa-se na faixa de 25 a 35%, na entrada da zona de refinação. A potência aplicada na refinação é melhor aplicada a uma alta consistência e a vida dos discos é maior devido à menor corrosão causada pela água e porque forma-se um melhor colchão de fibras entre os discos;

É essencial que o fluxo e a consistência de alimentação sejam mantidos o mais uniforme possível para garantir um bom funcionamento do refinador. Variações no fluxo e na consistência provocaram variações na consistência de descarga, a qual fará variar a carga aplicada (kWh/t) aos rejeitos.

3- Equipamentos de Alimentação

A medida do rejeito alimentado pode ser feita por uma rosca de passo variável, a qual deve operar a uma velocidade razoável, a fim de garantir uma descarga uniforme. De outro modo, haverá o perigo de uma alimentação não uniforme que dificultará o controle do refinador.

4- Geração de vapor

Uma grande quantidade de vapor é gerada durante uma refinação a alta consistência. Parte do vapor gerado flui (back flow) para o lado da alimentação do refinador e o resto flui para o lado da descarga.

A quantidade de vapor gerado depende do volume de produção, da energia aplicada, temperatura, consistência, pressão e vazão e temperatura da diluição.

O projeto do refinador e das tubulações deve ser capaz de remover todo o vapor gerado entre os discos do refinador.

Foi demonstrado que para uma carga aplicada de 1000 kWh/t, com discos novos, refinando a uma consistência de 25%, produz-se aproximadamente 1500 Kg de vapor por tonelada de polpa. Deste vapor, cerca de 30% retorna ao lado da alimentação e 70% acompanha a polpa descarregada. Esta proporção se altera conforme o desgaste dos discos.

5- Água de Diluição

A água de alimentação inserida no refinador, deve ser cuidadosamente e proporcionalmente controlada, se possível com uma exatidão da ordem de um litro por minuto. A vazão de água deve ser registrada para que a consistência no refinador seja conhecida e controlada.

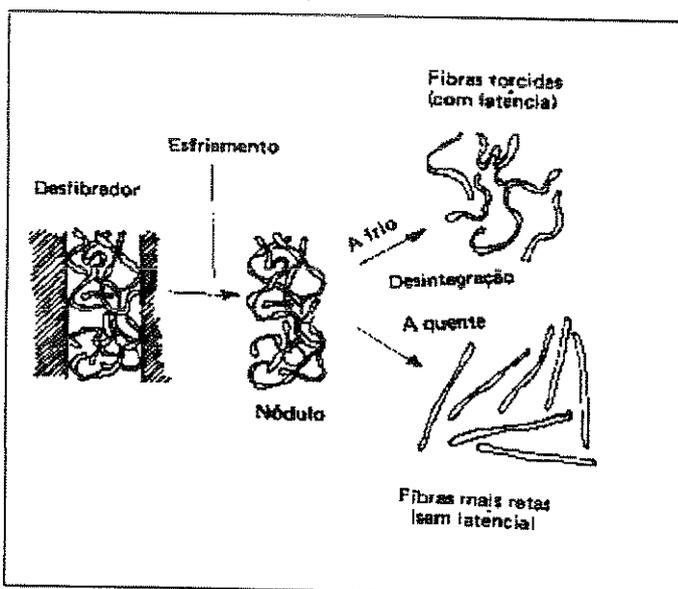
6- Tanque de Latência

A latência é encontrada em todas as polpas refinadas em consistências superiores a 18%. As fibras são enroladas, torcidas e comprimidas no sentido longitudinal. Estas distorções devem ser eliminadas antes da depuração e da utilização final da polpa. O tanque de rejeito refinado deve possuir agitação adequada, a baixa consistência, tempo de retenção adequado e alta temperatura para remover a condição latente das fibras refinadas. Alguns parâmetros utilizados são indicados abaixo:

- Temperatura: 75 a 85° C.
- Tempo de Retenção: 25 a 45 minutos.
- Consistência: 2,0 a 4,0 %
- Agitação: movimento adequado.

A polpa com latência aparenta um freeness mais alto e maior teor de shives, enquanto as propriedades de resistência mecânica são reduzidas.

Representação esquemática de formação e remoção de latência na pasta



7- Fatores que afetam a qualidade do rejeito

O rejeito refinado, tratado apropriadamente, é a pasta de melhor qualidade obtida em uma fábrica. Má qualidade do rejeito pode ser causada por uma ou várias das seguintes situações:

- a) Pouca energia aplicada - Vazão excessiva de rejeito.
- b) Consistência de Refinação fora de padrão, muito alta ou muito baixa, fora da faixa ideal de ²⁵~~35~~ a 35%.
- c) Desenho de discos inadequados ou com desgaste excessivo.
- d) Alimentação desuniforme, geralmente acompanhada por variações excessivas na carga do refinador.
- e) Remoção inadequada do vapor gerado, a qual é também acompanhada de variações de carga no refinador.
- f) Operação com abertura entre discos (disc gap) superior a 0,1 mm.
- g) Oscilações do eixo do rotor no sentido longitudinal, superiores a 0,1 mm.
- h) Cálculos de produção e energia aplicada incorretos.
- i) Variações de consistência.
- j) Remoção inadequada da latência do rejeito refinado.

Qualidade da Polpa

A refinação em alta consistência possibilita os seguintes resultados:

- a) Menos energia aplicada para se obter o mesmo freeness final.
- b) Maior resistência ao estouro para uma dada energia aplicada.
- c) Resistência ao rasgo levemente maior para uma dada energia.
- d) Volume específico aparente menor para uma dada energia.
- e) Teor de rejeitos substancialmente menor para uma dada energia aplicada.
- f) Menor energia aplicada necessária para eliminação de 50% dos rejeitos.
- g) Maior qualidade da polpa final para um mesmo freeness.

A refinação em alta consistência permite um maior contato fibra x fibra, minimizando a ação de corte das lâminas, desmanchando os feixes de fibras e fibrilando as fibras para desenvolvê-las, maximizando assim a área de contato e ligação.

A refinação em alta consistência é mais efetiva para rejeitos de pasta mecânica onde a eliminação de rejeitos e o desenvolvimento de resistência da polpa são os principais objetivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS PARTES 2, 3 E 4

- ANDRITZ SPROUT-BAUER -High Consistency Refining, material de divulgação utilizado na IKPC, 10 de março de 1993.
- ANDRITZ SPROUT-BAUER - Material de divulgação das peneiras Hooper PSV II.
- CAE SCREENPLATES - Diretrizes para o processo de Depuração na Indústria de Celulose e Papel - 1993
- F.W. ROBERTS - Manual de Carretilhas Para Afição - 1985.
- J e L FIBER SERVICES - Optima Technical Bulletin - volumes 1, 2 e 3.
- NORTON PULPSTONES - Manual de Pedras Desfibradoras - 1985.
- SUNDS DEFIBRATOR - Fundamental Aspects of Refiner Segments Pattern Design, Suécia - 1991.
- SENAI/IPT - Celulose e Papel - Volume I, 2ª edição, São Paulo - 1.988.
- TAPPI - Pulp and Paper Manufacture - Volume 2 - Mechanical Pulping, 3ª edição, Canada - 1987.