



**Skills Química**

**SNF FLOERGER**

## CLARIFICAÇÃO



# Polímeros Floerger

Caldo - Xarope - Filtro Prensa - Fuligem

Antonio Henrique Lima  
Nivaldo Luiz Esteves Junior  
Rodrigo Ferrari Castilho





**Skills Química®**

**SNF FLOERGER**

A **SNF FLOERGER** é uma empresa francesa, localizada em Saint-Etienne/França. Criada em 1978, estando presente em mais de 150 países e contando com 25 unidades de produção no mundo e mais de 30 filiais comerciais. Conta atualmente com uma produção corrente de cerca de 1.000 produtos e vem atuando nos mais variados setores do mercado como: papel e celulose, cosméticos, mineração, petróleo, açúcar e álcool, indústria têxtil, agricultura, tratamento de águas residuais e tratamento de água para o consumo humano.



Tendo atingido um expressivo volume de negócios ao longo dos últimos anos, a **SNF FLOERGER** se consolidou como a empresa líder mundial em produção de polímeros.

A **SNF FLOERGER** vem comercializando os seus produtos diretamente para as usinas de açúcar e álcool em todo o território nacional desde 1999, através de sua representante autorizada **SKILLS QUÍMICA**, colocando assim toda sua experiência, produtos e serviços à disposição do setor sucroalcooleiro.

Fazem parte dos produtos para o setor sucroalcooleiro a linha FLONEX: polímeros aniônicos, catiônicos, não iônicos e poliaminas descolorantes.





**Skills Química®**

**SNF FLOERGER**

Sediada em Dois Córregos/SP a **SKILLS QUÍMICA** conta com um depósito de polímeros para atender seus clientes diretos.

A **SKILLS QUÍMICA**, que tem em seu quadro profissionais altamente especializados, conta com o apoio técnico/comercial da **SNF FLOERGER**, com sede em Guarulhos/SP, onde mantém um amplo depósito com estoques regulares de todos os seus produtos.





## **A Evolução de Mercado**

### **Qual é a demanda de mercado?**

O estabelecimento de novos padrões de qualidade com especificações mais rigorosas para o açúcar, assim como a produção de etanol em grande escala, mostraram que algumas das técnicas empregadas no tratamento de caldo tornaram-se deficientes, obtendo-se um caldo parcialmente clarificado e com excessiva proporção de bagacilho em suspensão.

- ➔ **Tratamentos Eficientes.**
- ➔ **Atender às exigências ambientais.**
- ➔ **Necessidade crescente na recirculação de águas.**
- ➔ **Automação dos sistemas para dosagem adequada, visando baixar custos.**
- ➔ **Assistência Técnica.**

A aplicação de polímeros requer tratamentos eficientes; atende as exigências ambientais, dando maior sustentabilidade para a usina; tem uma necessidade crescente na recirculação de águas, evitando o desperdício e poluição do meio ambiente; automação dos sistemas de dosagem adequada, visando baixar custos, onde a vazão de polímero está "amarrada" com a vazão de caldo; e a assistência técnica, muito importante neste contexto.

A assistência técnica, tem como objetivo o acompanhamento contínuo no processo de aplicação e preparo de polímero, onde em caso de problemas, uma segunda opinião sempre pode ajudar. Novos procedimentos e equipamentos são testados em laboratório, com a finalidade de determinar o produto e dosagem ideal para o processo. No desenvolvimento de novos produtos, a **SNF FLOERGER** realiza testes antes da comercialização.





## Definições Importantes

**Polímeros:** A palavra **POLÍMERO** vem do grego **poli (muitas) + mero (partes)** e é exatamente isto, a repetição de muitas partes de um tipo de composto químico. E polimerização é o nome dado ao processo no qual as várias unidades de repetição ( monômeros ) reagem para gerar uma cadeia de polímero. Resumindo, são macromoléculas, ou seja, moléculas enormes, formadas pela união de moléculas menores, que são chamadas de monômeros, ou seja, todas as vezes que diversos monômeros são agrupados, nós produzimos um polímero.

É bom lembrar, que o polímero em si, não necessariamente é artificial. Existem polímeros naturais, muito estudados dentro da bioquímica como: proteína, que é um tipo de polímero formado pela junção de diversas moléculas de aminoácidos ; a celulose, que também é um tipo de polímero formado pela junção de diversas moléculas de beta-glicose ; o amido, que também é formado pela junção de moléculas de alfa-glicose, etc.

Dentre os polímeros artificiais de adição temos o polietileno, polipropileno, policloreto de vinila ( PVC ) e o poliestireno. Como exemplo também temos as poliaminas terciárias, poliaminas quaternárias, poliacrilamidas, colóides de melanina, e polímeros naturais derivados de tanino.

Na etapa de clarificação do caldo de cana empregam-se normalmente as poliacrilamidas, que são polímeros de alto peso molecular e solúveis em água.

**Dispersão Coloidal:** é um sistema água-sólido, geralmente em suspensão, onde as partículas possuem cargas negativas e estas partículas variam em tamanho de 0,1 a 1 milimicrons.

**Coagulação:** agrupamento das partículas coloidais, por desestabilização das cargas.

**Floculação:** agrupamento das partículas coloidais em tamanho suficientemente grande para haver sedimentação.

A coagulação tem por objetivo aglomerar as impurezas que se encontram em suspensões finais ( ou em estado coloidal ) e algumas que se encontram dissolvidas, em partículas maiores que possam ser removidas por decantação ou filtração.



## Coagulação

Colóide estável



Colóide instável



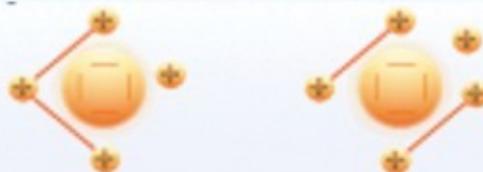
Formação de Microflocos





## Coagulação - Continuação

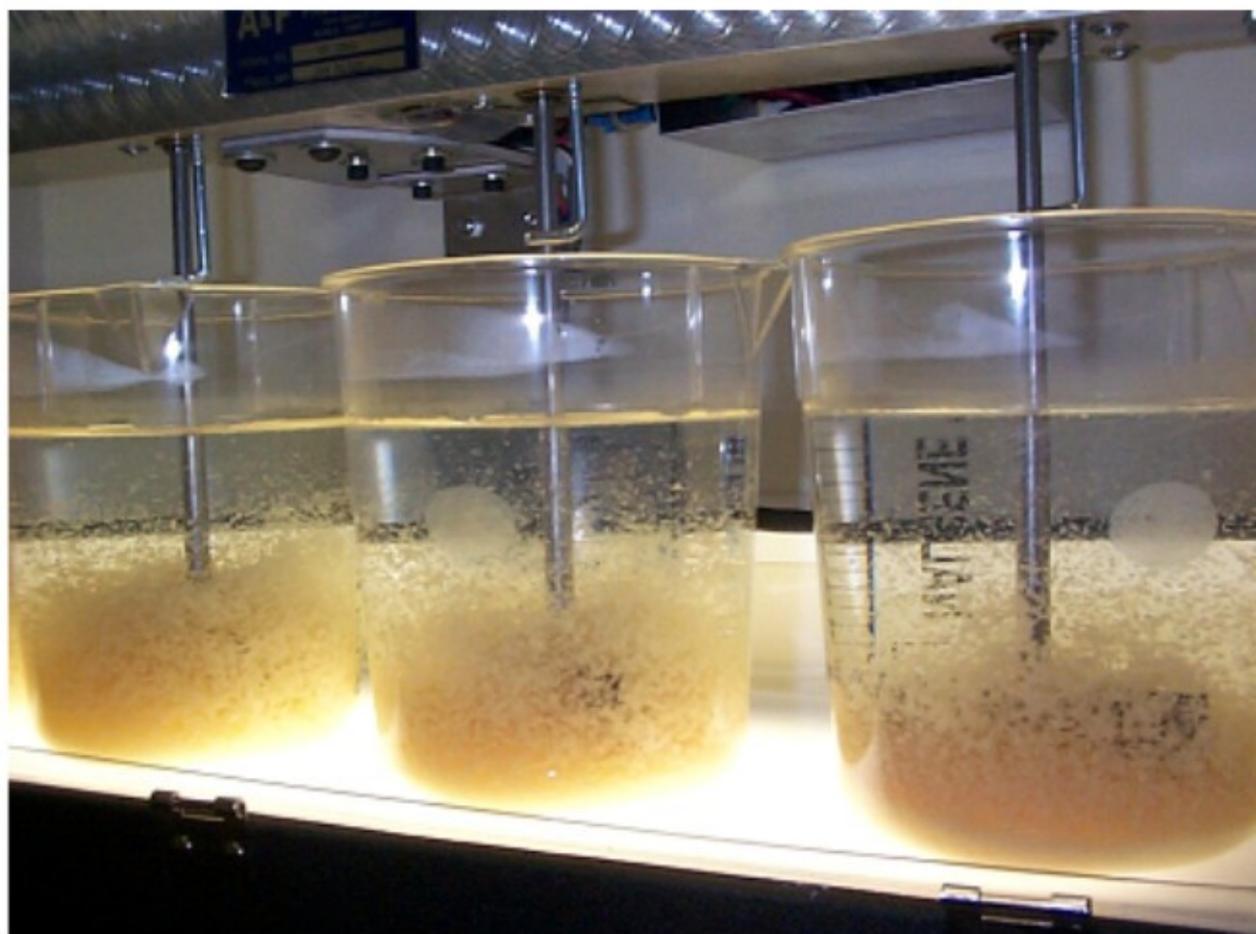
Colóide instável



Aglomeração (Pontes)



Formação de flocos





## Coagulação - Continuação





## Coagulação - Continuação

### **Principais Características dos Coagulantes:**

- mineral ou orgânico. Como mineral temos o exemplo do ácido fosfórico e orgânico a poliamina.
- são sempre catiônicos e alta densidade de carga.
- baixo ou alto peso molecular.
- estão presentes sempre na forma líquida.

### **Principais Grupos Orgânicos:**

- poliaminas ; polydadmac ; resina dicianodiamida ; resina melanina formaldeído.

Existem algumas vantagens e desvantagens na aplicação de um coagulante mineral ou orgânico que são:

- Mineral: como vantagens, possuem larga aplicação e baixo custo. E desvantagens, requer alta dosagem, formação de grande volume de lodo e alteram o pH.
- Orgânico: como vantagens, requer uma baixa dosagem, formação de pequeno volume de lodo e não alteram o pH. E como desvantagem possui um custo mais elevado.

Os polímeros podem pertencer às famílias dos não iônicos, que não possuem carga; aniônico, que possuem carga negativa; catiônico, que possuem carga positiva; e os anfóteros com carga negativa e positiva. No setor de açúcar e álcool especificamente trabalhamos com o aniônico e catiônico.

Como uma cadeia de polímero é formada pela adição de uma grande quantidade de monômero, durante a polimerização, cadeias com diferentes comprimentos serão formadas e, portanto, uma distribuição de comprimentos de cadeia será obtida. Conseqüentemente, uma distribuição de pesos moleculares também existirá, não sendo possível obter um valor único e definido para o peso molecular do polímero.

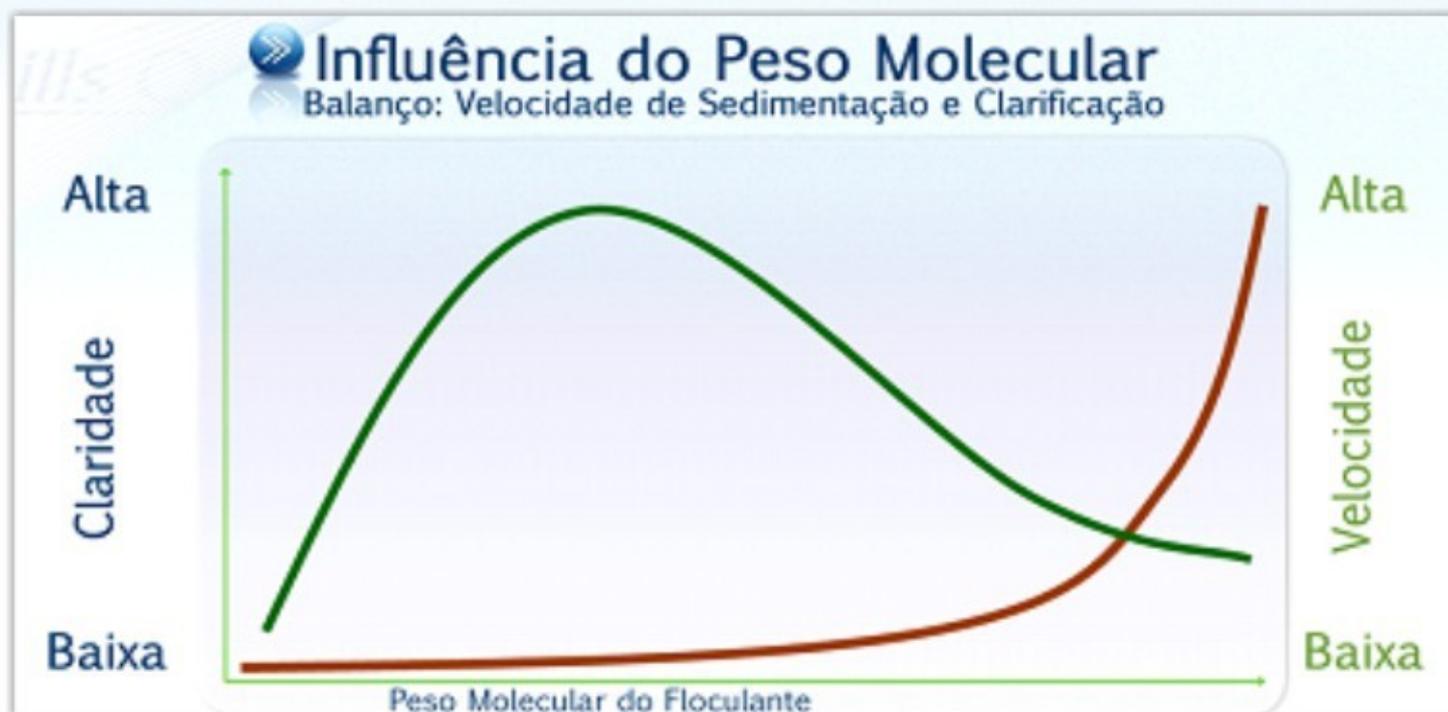
Tanto o peso molecular quanto a distribuição de pesos moleculares são determinadas pelas condições operacionais da reação, sendo que diferentes condições operacionais produzirão polímeros com pesos moleculares diferentes.

Devido à grande competição industrial, são de extrema importância: a habilidade de poder controlar o peso molecular do polímero durante sua produção e o entendimento de como o peso molecular influencia nas propriedades finais do polímero.





## Floculação



Na figura acima, em um determinado ensaio, a medida que aumenta o peso molecular do polímero, temos um aumento da velocidade de sedimentação e conseqüentemente uma maior claridade do caldo clarificado. Em uma outra situação, a medida que aumenta o peso molecular, quando chegar em um determinado momento ou uma concentração máxima permitida, a velocidade de sedimentação e a claridade do caldo clarificado diminui. Fato este, que não é somente um polímero de peso molecular alto que vai determinar a sua ótima eficiência, é preciso realizar um teste prévio em laboratório e ajustar a dosagem para daí, então, determinar o tipo de polímero em uso.



## **Preparação e Eficiência do Floculante:**

Os floculantes utilizados nas usinas de açúcar e álcool para promover a formação de flocos no processo de clarificação, são dissolvidos em água em concentrações que podem variar de 0,03 a no máximo 0,1%, antes de serem adicionados no caldo.

Devido ao alto peso molecular, o floculante está sujeito à despolimerização. Além deste, alguns outros fatores podem reduzir a eficiência ( atividade ) do floculante: longo tempo de armazenagem da solução, temperatura, sais minerais e materiais em suspensão na água utilizada na diluição, etc.

No estado sólido ( pó ) a molécula se apresenta “enrolada”. Durante a dissolução a molécula se desenrola ( hidratação ) lentamente, necessitando de no mínimo 2:30 horas para completar este processo, isto para floculante aniônico. Para o floculante catiônico o tempo é de no mínimo 1:30 horas.

A atividade máxima do floculante coincide com a máxima linearização da molécula. Neste estado a molécula é muito frágil, com possibilidade de se despolimerizar em moléculas de peso molecular menor.

Quando em solução a molécula pode se “quebrar” em moléculas menores pela ação de agitação violenta e temperatura elevada, ambos associados ao tempo ( agitadores, bombas, acidentes na linha, etc. )

O bom desempenho de um polieletrólito depende das seguintes características: grau de hidrólise, peso molecular, carga elétrica, quantidade empregada na clarificação e cuidados no preparo/dosagem.

A quantidade ideal de polímero a ser adicionado ao caldo depende de sua qualidade e das características disponíveis. Tanto para a seleção do melhor polímero, como para otimização da sua dosagem, é recomendável que sejam conduzidos testes preliminares em laboratório.

De um modo geral, a dosagem de polímero para tratamento do caldo tem variado entre 1 a 3 ppm ( com base na matéria prima disponível ).





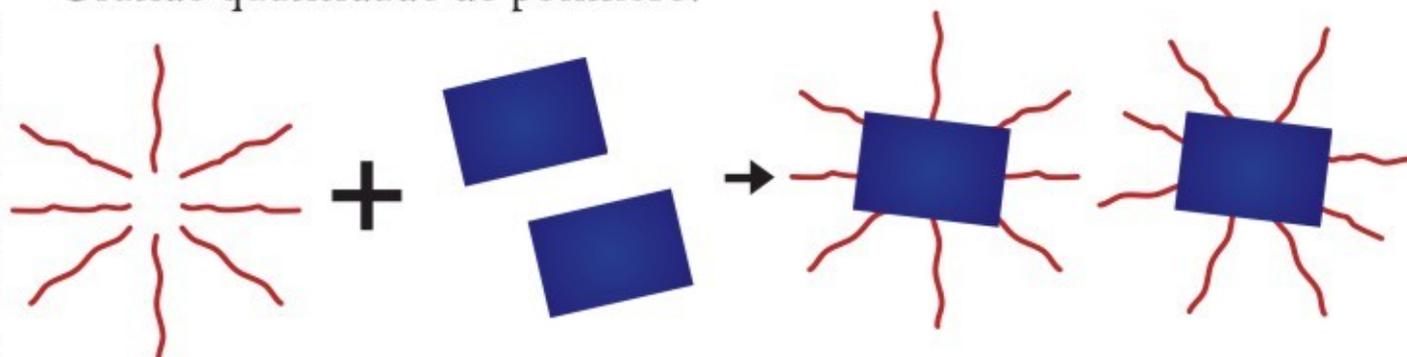
## Preparação e Eficiência do Floculante

A adição de grande quantidade de polímero pode provocar o efeito contrário, ou seja, em vez de provocar a atração das partículas, estabilizam o colóide e dificultam a floculação. Os efeitos da aplicação da quantidade correta e de grande quantidade de polímero são esquematicamente representados abaixo:

- Quantidade correta de polímero:



- Grande quantidade de polímero:





## Preparação e Eficiência do Floculante

Os cuidados a serem tomados com o polímero podem ser divididos em: cuidados no preparo propriamente dito, cuidados com a água de diluição utilizada e cuidados com a dosagem do produto.

### **Cuidados no preparo:**

- os tanques devem ser construídos em inox, ou aço carbono, sendo este último, revestido com resina epóxi, para evitar a reação dos íons  $Fe^{++}$  com o polímero, tornando-o menos eficiente.
- a agitação mecânica deve ser leve, de 20 a 30 rpm.
- a diluição no preparo deve estar na faixa de 0,03 a 0,1% no máximo.
- o polímero deve ser adicionado no tanque quando este estiver com metade do seu volume com água e bem lentamente através de edutores, evitando a formação de grumos.

### **Cuidados com a água de diluição:**

- deve ser isenta de sólidos em suspensão
- deve ser isenta de dureza e sílica
- a temperatura da água utilizada não deve ser superior a 50°C. Temperatura muito elevada provoca a quebra da cadeia com conseqüente redução do peso molecular, provocando a queda da eficiência do polímero.
- o pH da água deve ser neutro, ou seja, próximo de 7,0.

### **Cuidados na dosagem do polímero:**

- a bomba dosadora deve ser do tipo helicoidal, de deslocamento positivo, preferivelmente com variador de velocidade.
- deve ser utilizados rotâmetros, ou algum outro indicador de vazão, para medição da vazão da solução de polímero na entrada de cada decantador, facilitando o controle pelo operador.
- o ponto de aplicação **não** deve ser um local de muita turbulência, porém, onde seja certa a sua homogeneização, sem risco de quebra da cadeia do polímero.
- polímeros de elevado peso molecular não devem ser agitados com ar comprimido, pois, dependendo da intensidade da agitação corre-se o risco de todo polímero permanecer na parte superior do tanque, separando-o da água que permanecerá no fundo, e também pode haver a quebra da cadeia.
- o floculante em pó, sendo higroscópico, deve ser guardado em lugar seco e de baixa temperatura.
- as embalagens devem ser mantidas fechadas, para impedir a absorção de umidade
- um floculante seco, pode ficar armazenado por até 2 anos
- evitar inalar o floculante
- contato com a pele deve ser evitado
- contaminação nos olhos: deve-se lavar rapidamente com água.



## Preparação e Eficiência do Floculante

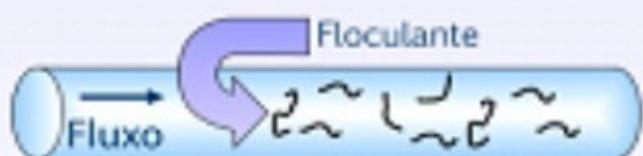
### Continuação

No exemplo abaixo, temos os tipos de dosagem de polímero, quando este for dosado na linha. Recomendamos o 2º exemplo, pois há uma melhor homogeneização do floculante com o caldo, e evita o choque direto com caldo.

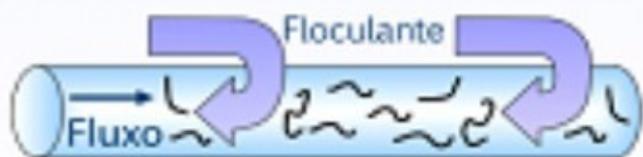
### Injeção de Floculante



Ineficiente



Eficiente



Durante os testes em campo, alguns parâmetros são necessários para a confirmação dos testes preliminares em laboratório que são:

- vazão de caldo, xarope ou lodo → importante o conhecimento para determinarmos a dosagem em ppm.
- concentração na diluição → estabelecer um padrão para não haver perda de eficiência e também para determinação da dosagem em ppm.
- vazão do floculante → importante o conhecimento para determinarmos a dosagem em ppm e estabelecer um limite para não haver superdosagem e perda da eficiência do floculante, causado pela estabilização dos colóides, dificultando a floculação.

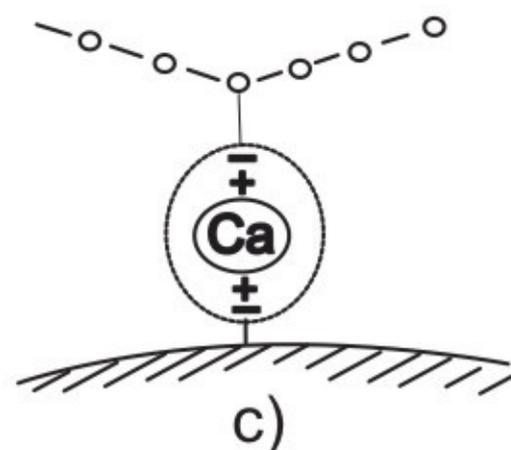
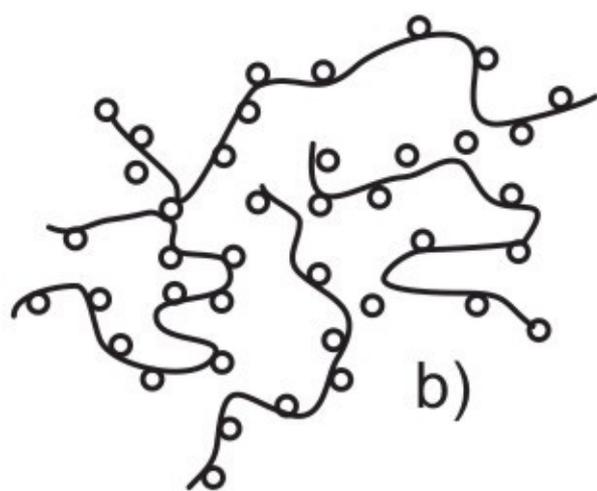
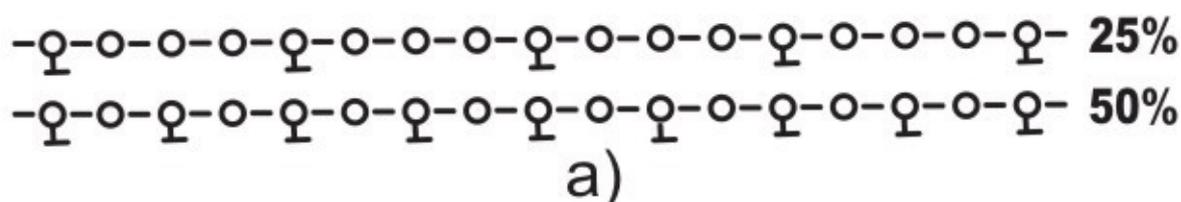




## Base para a Seleção de Polímeros e Objetivos da Aplicação

Teoricamente os floculantes participam do terceiro estágio de clarificação, que se relaciona com agrupamento dos flocos formados.

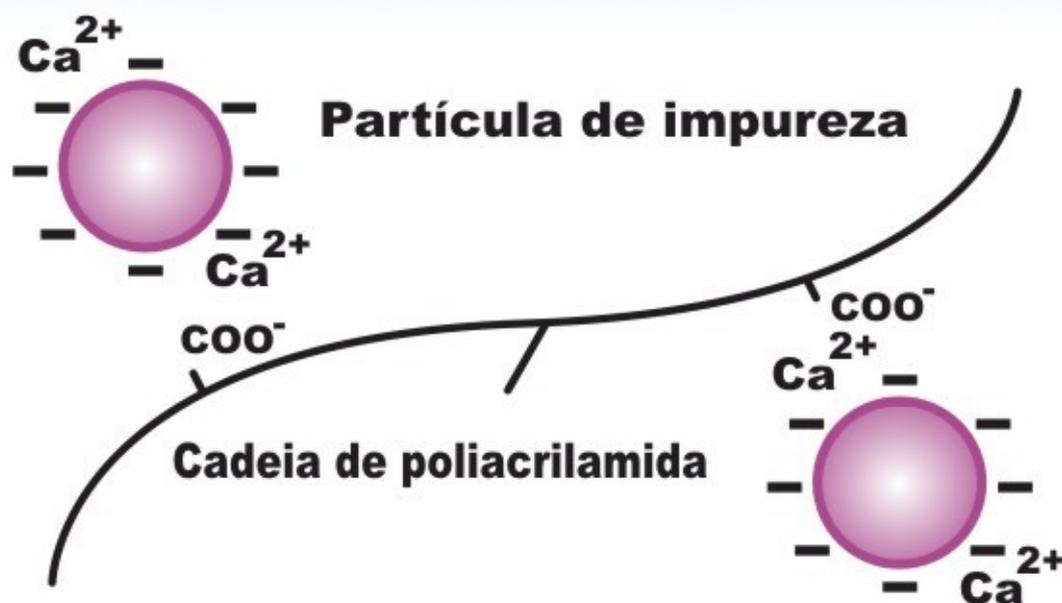
Os floculantes constituem-se basicamente de grupos *Acrilatos* e *Carboxilas*. Em solução, o grupo *Acrilato* dissocia-se, ficando as cargas negativas distribuídas ao longo da cadeia, como mostrado na FIGURA A. Os grupos  $\text{COO}^-$  servem como elo de fixação com partículas negativamente carregadas (FIGURA C), através de uma ponte com um cátion divalente. Se algumas partículas compartilham de uma mesma cadeia, então uma extensa rede de flocos é formada como verificado na FIGURA B. Estes flocos podem crescer rapidamente, quase que instantaneamente, atingindo 1 cm ou mais de diâmetro, provocando uma rápida separação entre fases.



a) HIDRÓLISE DE FLOCULANTES b) FORMAÇÃO DE FLOCOS c) PONTE CATIÔNICA



## Base para a Seleção de Polímeros e Objetivos da Aplicação



Como as cargas na superfície das partículas variam de caldo para caldo, o tipo de floculante requerido depende das características destas partículas.

Qualquer que seja a aplicação, é fundamental conhecer o peso molecular e o grau de hidrólise do polímero, bem como sua carga iônica (catiônico / aniônico) e nível de contaminantes indesejáveis.

A seleção do polímero mais adequado em cada caso deve ser feita por investigação em testes preliminares de laboratório, onde são testados polímeros de diferentes grau de hidrólise e peso molecular.

Pode-se dizer que os objetivos da adição de polímero ao caldo é promover a formação de flocos mais densos no processo de clarificação do caldo, visando:

- maior velocidade de decantação
- compactação e redução do volume de lodo
- redução da turbidez do caldo clarificado
- produzir um lodo de melhor filtrabilidade e conseqüentemente um caldo filtrado mais limpo
- menores perdas de sacarose na torta
- máxima eliminação de colóides.





## Clarificação de Caldo e Xarope

### Tratamentos Físicos e Químicos

A tecnologia empregada na purificação do caldo de cana fundamenta-se na coagulação máxima dos seus colóides e na formação de um precipitado insolúvel que a adsorva e arraste todas as impurezas responsáveis pela sua natureza turva e opalescente.

A composição do caldo de cana em processamento e o tipo de açúcar a produzir tem sido aceitos como os principais fatores que determinam o processo de purificação a utilizar.

Dos inúmeros processos estudados e conhecidos, com vista à floculação dos colóides do caldo, apenas os baseados na mudança da reação do meio e da temperatura prevaleceram industrialmente.

O caldo misto de cana que flui das moendas, encerra em solução, diversas substâncias solúveis como sacarose, glucose, frutose, sais minerais, compostos nitrogenados, etc., e em suspensão, bagacilho, terra, cera, etc. Como se trata de matéria prima extrativa, o caldo de cana é de composição extremamente variável, podendo apresentar modificações em função de:

- variedade, idade e sanidade da cana
- condições climáticas
- tratos culturais
- condições do solo e da nutrição deste
- tempo de espera para a industrialização após a despalha pelo fogo
- tempo de espera para a industrialização após o corte.

Em razão dessas prováveis modificações, o caldo de cana apresenta-se como um material que pode reagir diferentemente quando submetidos aos processos usuais de clarificação. Por esses processos, procura-se separar tanto quanto possível do caldo as impurezas em suspensão, e as dissolvidas, sem afetar a sacarose presente, tornando-o claro e cristalino.

Os reflexos de uma purificação mal feita se fazem sentir nas fases posteriores da fabricação. Na fase de evaporação, por exemplo, a separação de parte das impurezas minerais e orgânicas do caldo, na forma de incrustação, concorre para a diminuição da capacidade evaporativa dos vasos de múltiplos efeitos, comprometendo-se assim, a eficiência desses equipamentos.

Por outro lado, as impurezas não separadas do caldo pela clarificação, podem se constituir, na fase de cozimento, em núcleos de cristalização de sacarose, dando origem a cristais impuros, durante o crescimento dos cristais, essas impurezas podem também aderir às sucessivas capas cristalinas, depreciando-os. Em consequência, a fase de centrifugação e a de conservação do açúcar final ficam comprometidas: uma massa cozida contendo cristais impuros, cristais de diferentes tamanhos, cristais de crescimento irregular, falsos cristais, etc. não se centrifugando bem, ou seja, não permite uma separação correta dos méis.





## Clarificação de Caldo e Xarope - Continuação

Atualmente, na grande prática açucareira, os processos básicos de purificação estão baseados numa peneiragem inicial do caldo misto e numa clarificação posterior, utilizando-se de reagentes químicos e do efeito da temperatura.

Dos diversos reagentes químicos existentes, a cal constitui o agente básico de todos os processos de clarificação. Além da cal, para a produção de melhores tipos de açúcar, o enxofre, é o reagente mais usual.

Esses reagentes, alterando as condições de pH do meio, aliado ao efeito da temperatura, provocam quando adicionados ao caldo, a formação de precipitados, que produzem a remoção, em maior ou menor grau, de suas impurezas.

O caldo de cana que flui das moendas, sob o aspecto físico-químico é um dispersóide constituído de matérias em todos os graus de dispersão, incluindo-se desde partículas grosseiras até íons.

As dispersões grosseiras do caldo recém extraído das moendas são separadas com facilidade, utilizando-se de um sistema de peneiras. Já as dispersões coloidais, moleculares e iônicas, são separadas, tanto quanto possível, utilizando-se de processos diversos de clarificação.

Abaixo, segue algumas composições do caldo de cana:

Dispersões	Diâmetro	%	Espécies
Grosseiras	> 0,0001 mm	2 a 5	Bagacilho, areia, terra, gravetos, etc
Coloidais	0,0001 a 0,0000001 mm	0,05 a 0,3	Ceras, graxas, proteínas, gomas, pectinas taninos, matérias corantes, colóides resultantes do crescimento e da ação de microorganismos, etc. Açúcares sacarose, glucose, frutose, manose, etc.
Moleculares e Iônicas	< 0,0000001 mm	8 a 21	Sais Minerais fosfatos, silicatos, sulfatos de Ca, Mg, K, Na, etc. Ácidos Orgânicos ácido aconítico, oxálico, málico, etc. Algumas substâncias coloidais





## Peneiragem do Caldo

O caldo extraído pelas moendas começa a ser purificado pela remoção do material em suspensão, que ele encerra, através da sua peneiragem. Esse caldo contém areia, terra, pedaços de cana e de bagaço, chamado genericamente de bagacilho, os quais devem ser eliminados antes que ele passe à fase de clarificação..

Vários são os tipos de peneiras utilizadas na prática para o tratamento de caldo, com o objetivo de separar essas impurezas grosseiras. A quantidade de bagacilho arrastada no caldo varia consideravelmente, dependendo do grau de preparo da cana, do assentamento da bagaceira, do tipo de ranhura utilizada, da variedade de cana, do tipo de condutor intermediário, etc.

A presença de bagacilho durante a clarificação é indesejável, pois, além de produzir danos como entupimento de canalizações, bombas, registros, etc., podem ocorrer com a alcalinização do meio durante a calagem, a solubilização da celulose que libera um produto amarelo, a **sacaretina**, que interfere na qualidade do açúcar.

O caldo que sai das moendas deve passar primeiramente através de uma peneira de malha de aproximadamente 1,0 mm de diâmetro, quando a fração mais grosseira do bagaço é retirada. Porém, esse caldo peneirado ainda contém muita partícula fina, de tamanho inferior a 1,0 mm, devendo ser submetido a uma segunda peneiragem para removê-la. Normalmente utiliza-se telas com perfurações de 0,4 mm de diâmetro.

### **Tipos de peneiras:**

- Estáticas ( DSM, Cush-Cush )
- Vibratórias
- Rotativas

A matéria estranha vinda do campo, causa um substancial aumento de perda de açúcar no bagaço, torta de filtro e no mel final, provocando um decréscimo no rendimento industrial, de modo que a recuperação de açúcar é diminuído. A presença dessas impurezas provoca uma série de problemas como: estrago e rompimento de bombas, válvulas, linha de canalização e podendo também acumular-se nas caixas de calagem, nos decantadores, nas caldeiras, etc.



## **Peneiragem do Caldo - Continuação**

Face a isso, as técnicas mais recentes tem mostrado a necessidade de se eliminar a maior quantidade possível de sólidos em suspensão como: terra, areia, argila, etc.

Essa preocupação cresce à medida que aumenta a mecanização das operações de corte e carregamento, em cada unidade açucareira. A quantidade daquelas impurezas transportadas para as usinas pelo carregamento mecânico em dias secos é da ordem de 1 a 3%, mas em dias úmidos varia em média entre 6 a 8%. Se essas impurezas não foram removidas através de uma eficiente lavagem, pode a sua quantidade no caldo atingir níveis indesejáveis, sendo necessário eliminá-lo antes que o caldo seja clarificado.

A eficiência de separação de uma peneira depende fundamentalmente de:

- abertura da tela utilizada
- porcentagem de área aberta
- distribuição granulométrica dos sólidos totais ( minerais e orgânicos ) em suspensão.



## Tratamento Químico

Mesmo após o tratamento físico, o caldo de cana ainda contém impurezas na forma de compostos solúveis, coloidais e insolúveis em suspensão que devem ser removidos.

O objetivo da clarificação é remover o máximo possível as impurezas presentes no caldo, e o processo de clarificação do caldo consiste basicamente em se fazer a coagulação/floculação do material em suspensão no caldo e removê-lo na decantação.

Os objetivos da clarificação podem ser definidos como:

- máxima eliminação de não açúcares
- máxima eliminação de colóides
- caldo clarificado com baixa turbidez
- mínima formação de cor
- máxima taxa de sedimentação
- boa compactação de lodo
- conteúdo mínimo de cálcio no caldo
- pH do caldo adequado de modo a evitar a inversão da sacarose ou decomposição dos açúcares redutores.



## Dosagem de Fósforo

Pela importância que assume na fabricação do açúcar, especialmente na clarificação de caldo, o fósforo tem sido um dos elementos mais estudados pelos tecnologistas. É um dos elementos responsáveis pela precipitação das impurezas do caldo no processo de decantação.

O fósforo encontra-se no caldo de cana na forma mineral e na forma orgânica. A maior parte desse elemento, encontra-se na forma solúvel, visto que pela clarificação com cal, a sua eliminação é da ordem de 80 a 90% (pH de 7,0 a 7,6).

O restante do fósforo está na forma de fosfolipídios, fosfohexoses, fosfoproteínas, etc., e cujo comportamento na clarificação é ainda desconhecido.

Outro ponto importante é o comportamento do fósforo na clarificação. Ao alcalinizar o caldo com leite de cal, não se tem com o fosfato um composto químico definido, mas sim uma massa amorfa, cuja composição e natureza variam amplamente.

A maioria das experiências sobre o teor de fósforo no caldo para uma boa clarificação cita o valor de 0,03%, ou seja, 300 mg de  $P_2O_5$  por litro.

Em realidade, algumas variedades mostram boa clarificação mesmo com baixos teores de fósforo, enquanto que outras mostram bons valores desse elemento e não clarificam bem, sendo conhecidas como refratárias. Por outro lado, alguns estudos mostraram que uma melhor adubação fosfatada da cana de açúcar contribui para o aumento desse elemento no caldo.

Altos teores de fósforo no caldo ocasionam:

- borras muito volumosas
- borras de baixa densidade
- decantação lenta
- sobrecarga dos filtros, etc.

Baixos teores de fósforo por sua vez, são responsáveis por:

- caldos escuros
- pequeno volume de borras
- baixa remoção de cálcio
- clarificação difícil
- borras não compactas, etc.



## **Dosagem de Fósforo - Continuação**

Os produtos contendo fósforo ( ácido fosfórico, fosfatos, etc. ) são normalmente recebidos na usina prontos para a aplicação no processo.

A armazenagem é feita em tanques de fibra de vidro, inox ou aço carbono revestidos com epóxi. É obrigatório que a adição seja sempre antes da adição do leite de cal ou sacarato ( se possível antes da sulfitação ).

A quantidade a ser adicionada varia de acordo com o  $P_2 O_5$  presente originalmente no caldo. O ideal é que o total de  $P_2 O_5$  no caldo ( existente + adicionado ) seja superior a 200 ppm, no limite de 300 ppm.

O local de aplicação do fosfato é função das condições de cada usina. Por via de regra, o fosfato é adicionado ao caldo misto antes da dosagem com o leite de cal e a sulfitação. Evidentemente, cada usina deve observar as melhores condições de aplicação.

A escolha da fonte de fosfato a utilizar na usina é outro ponto importante. O ideal é sempre colocar no caldo um produto com alta pureza em  $P_2 O_5$ , sem levar outros elementos, a não ser que se reconheça também as suas vantagens técnicas. Neste particular, o ácido fosfórico parece ser o que melhor se presta para este fim, ou seja, fornece radicais fosfóricos para a precipitação do cálcio e magnésio, além de produzir efeitos complementares de clarificação, sem levar para a fábrica outros elementos.

Por outro lado, a permanência de algum fosfato no caldo clarificado pode ser benéfica à operação de evaporação, já que os sais fosfóricos precipitados nos evaporadores dão origem a incrustações mais moles. Portanto, a ação do fosfato se faz presente tanto na clarificação como na evaporação, contribuindo para o abrandamento das incrustações.



## Sulfitação do Caldo

A clarificação do caldo pelo processo de sulfitação, baseia-se na formação do sulfito de cálcio que é um sal pouco solúvel, que posteriormente será removido do fluxo de fabricação. Todavia, parte da cal usada combina-se com os ácidos orgânicos, dando a formação de outros sais.

Para se entender o processo é necessário compreender, de um modo geral, as propriedades e as ações do gás sulfuroso sobre o caldo de cana, cujas principais são as seguintes: purificante, descorante, neutralizante, fluidificante, preservativa, inversiva e precipitativa.

- **Ação purificante:** ao se aplicar o anidrido sulfuroso ao caldo bruto, observa-se que pequenas partículas são formadas no caldo, as quais vão se transformando em volumosas massas de flocos com variáveis densidades. Este fenômeno ocorre em virtude dos colóides encontrarem nesse meio seu ponto isoelétrico.

- **Ação descorante:** as matérias coloridas do caldo são reduzidas em parte pelo anidrido sulfuroso. A sua ação descorante é devido a sua propriedade redutora, baseada na liberação de hidrogênio, o qual reduz as substâncias coloridas, dando formação a compostos menos coloridos. Esta descoloração é temporária, pois, o caldo sulfitado exposto ao ar vai gradualmente se oxidando pela absorção de oxigênio, retornando à cor primitiva.

- **Ação neutralizante:** a sua ação neutralizante é utilizada quando se adota ao processo de defeco-sulfitação. Os sais formados com a cal são praticamente insolúveis em meio neutro ou alcalino.

- **Ação fluidificante:** o ácido sulfuroso reduz a viscosidade do caldo pela precipitação de certos colóides, fazendo melhorar a decantação e a qualidade do caldo para evaporação e cozimento, produzindo dessa forma méis mais esgotados.

- **Ação preservativa:** é um poderoso antisséptico, evita o desenvolvimento de microorganismos prejudiciais.

- **Ação precipitativa:** quando a estabilidade do estado coloidal do caldo é rompida, ocorre a precipitação coloidal. Os colóides hidrófobos mantêm a estabilidade das partículas pela atração das moléculas entre si, através de suas cargas elétricas. Todas as vezes que estas cargas elétricas são neutralizadas, ocorre a aglomeração de um grande número de partículas coloidais até formarem grandes flocos que podem ser separados por sedimentação, ou filtração. A neutralização das cargas coloidais são satisfeitas pela adsorção de íons de carga oposta. Os colóides hidrófobos do caldo de cana são principalmente de natureza inorgânica. Por outro lado, a estabilidade coloidal dos colóides hidrófilos é mantida pela combinação das moléculas ou ions do soluto com uma determinada proporção de moléculas de solvente.



## Sulfitação do Caldo - Continuação

Neste caso, a precipitação ocorre pela eliminação das moléculas de água, que formam a camada protetora das partículas coloidais, o que ocorre pela ação do calor. Esses colóides são principalmente orgânicos, como hemicelulose, substâncias nitrogenadas, amido, etc.. Entretanto, alguns colóides depois de floculados podem retornar ao estado coloidal, o que é chamado de peptização. Isso ocorre geralmente quando o pH do meio é alterado.

Durante a purificação do caldo, outro fenômeno que pode ocorrer é o da adsorção, que consiste na adesão do colóide sobre a superfície de matéria sólida. Essa matéria sólida com grande área superficial como é o caso do fosfato de cálcio, e dos precipitados de sílica, ferro, alumínio, adsorvem os colóides e produzem a purificação do caldo. O pH do meio tem papel definido na capacidade de adsorção dos colóides pela matéria sólida. Como o caldo é composto de várias substâncias as quais necessitam de diferentes condições de pH para obter sua floculação, difícil se torna a remoção das mesmas em um único processo geral.

A ação precipitativa, ocorre pela reação entre o anidrido sulfuroso e a cal, dando formação de um sal pouco solúvel em meio neutro e alcalino, o sulfito de cálcio. Esse procedimento ocorre quando se faz a sulfitação e em seguida a neutralização com leite de cal.

As reações que ocorrem durante o processo são as seguintes: quando o gás é borbulhado no caldo, há reação com a água, dando ácido sulfuroso e esta solução contém  $\text{H}_2\text{SO}_3$  molecular não dissociado e íons dissociados de  $\text{HSO}_3^-$

Uma não adequada neutralização do ácido sulfuroso pela cal produzirá bissulfito, que nas fases posteriores de concentração poderá se decompor, dando formação do sulfito de cálcio, que irá incrustar os aparelhos.

Quanto mais alta a concentração de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{SO}_3^{--}$ , mais completa é a precipitação do sulfito de cálcio após o aquecimento. Porém, formam-se cristais muito finos que dificultam a sua remoção.

A neutralização do ácido sulfuroso requer um tempo mais ou menos longo e uma elevada temperatura, acima de  $100^\circ\text{C}$ .

- **Ação Inversiva:** O anidrido sulfuroso, em condições específicas, pode provocar a inversão da sacarose em glicose e levulose.





## Sulfitação do Caldo - Continuação

A intensidade da inversão é função da concentração de ácido ( pH ), do tempo e da temperatura do meio. Baseado neste fato, tem-se recomendado que a sulfitação se processe o mais rápido possível. Se o pH está compreendido entre 4,5 e 4,7 pode-se elevar a temperatura entre 50° a 70°C.

Os principais objetivos da sulfitação são:

- redução do pH para precipitação e eliminação de albuminas ( proteínas ).
- diminuição da viscosidade do caldo e conseqüentemente de massas, xarope e méis.
- formação de complexos com açúcares redutores, impedindo a sua decomposição, e controlando a formação indesejável de cor.

O benefício da sulfitação ser realizada a 70°C é acelerar a cristalização do sulfito de cálcio (  $\text{CaSO}_3$  ), evitando assim que parte do mesmo permaneça em solução, o que contribui para a formação de incrustações nos evaporadores.

A temperatura de 70°C é considerada ideal, porque além de ser a temperatura de menor solubilidade do  $\text{CaSO}_3$ , favorece a velocidade das reações envolvidas.



## Restrições à Sulfitação

Apesar da sulfitação ser o método mais utilizado no tratamento do caldo da cana-de-açúcar, no Brasil e em países produtores de açúcar branco, este processo apresenta alguns aspectos que tem restringido seu uso. Entre eles, destacam-se as normas de segurança alimentar, questões de ordem operacional, tecnológica e ambiental.

Observa-se uma tendência mundial na redução do uso de compostos a base de enxofre nos alimentos, devido aos seus possíveis efeitos nocivos ao consumidor. E também, porque a presença destes compostos pode prejudicar a qualidade dos produtos que utilizam o açúcar como matéria prima, caso das indústrias de laticíneos e bebidas carbonatadas.

Do ponto de vista do processo, a sulfitação apresenta sérios problemas de irregularidade, dificuldade operacional, perdas de sacarose por se trabalhar em valores de pH que chegam na faixa de 3,8 – 4,3, e devido a reação de solubilização entre o  $\text{SO}_2$  gasoso e o caldo não ser perfeita, ocasionando variações de pH final no caldo sulfitado e a consequente inversão da sacarose. Isto leva a obtenção de produtos de qualidade inferior, incluindo, mas não limitando, a alta concentração de  $\text{SO}_2$  e problemas de estocagem.

Além disso, na sulfitação do caldo de cana, o  $\text{SO}_2$  é obtido pela queima do enxofre elementar, em fornos rotativos, na própria indústria. Essa atividade pode lançar grandes quantidades de dióxido de enxofre ao ambiente, provocando sérios problemas ambientais, como chuvas ácidas, desconforto no ambiente de trabalho das fábricas e corrosão em metais nas instalações industriais.



## Calagem

Nesta etapa eleva-se o pH do caldo, seja com Hidróxido de Cálcio ou Sacarato de Cálcio, a valores próximos de 7,0 a 7,4 em quantidade suficiente para neutralizar os ácidos orgânicos presentes no caldo, formando sais insolúveis, e os flocos formados irão sedimentar arrastando partículas em suspensão, compostos coagulados, além de diferentes proporções de gorduras, ceras, graxas, gomas, etc.

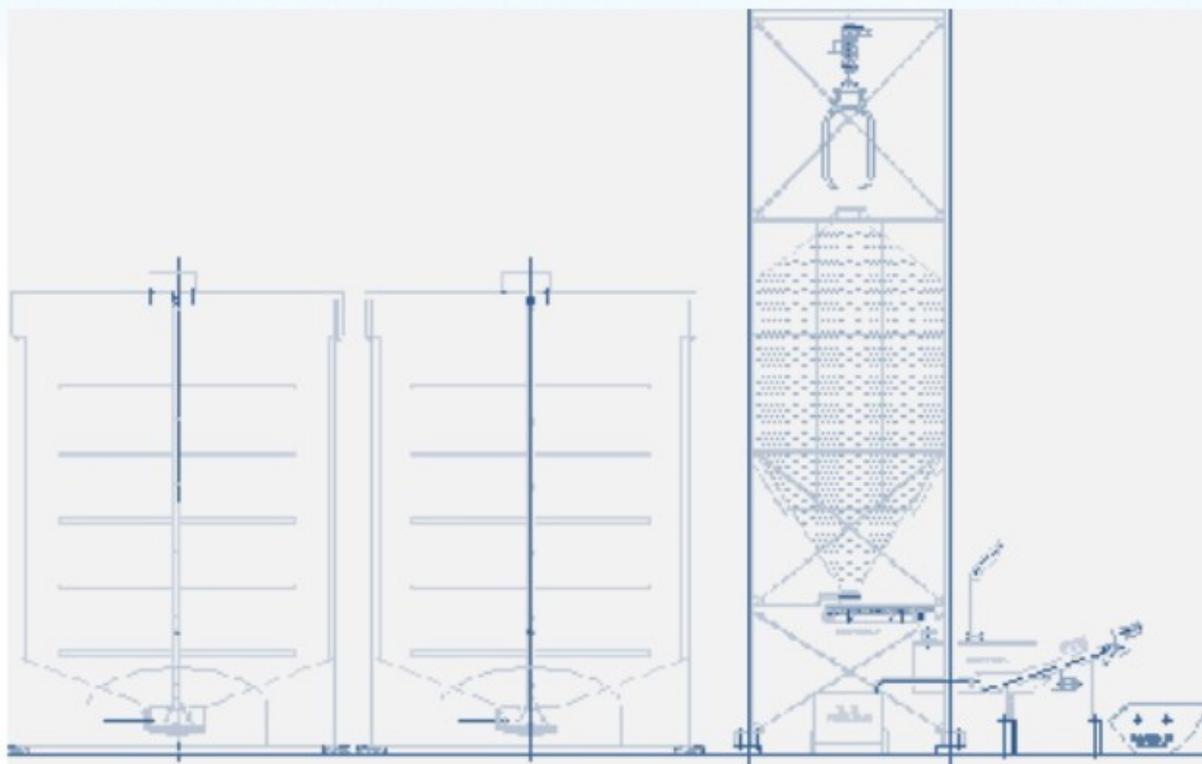
A cal para ser usada na alcalinização do caldo deve passar previamente por uma hidratação, ou seja, ser transformada numa suspensão de leite de cal. A aplicação da cal na forma de pó não é aconselhável, devido ao seu efeito nocivo sobre os componentes do caldo, principalmente sobre os açúcares redutores. Há sempre o perigo de superalcalinizações locais.

Em realidade muitos são os estudos sobre a importância do fósforo no caldo de cana com vista à clarificação. Entretanto, poucos são os informes de como se processam as suas reações com o íon cálcio. Por outro lado, é certo que a maior parte do fosfato do caldo é removido pela calagem. A remoção desse elemento é da ordem de 80 a 90%, quando o pH chega a atingir 7,5. Os outros 10% de fosfato de cálcio permanecem no caldo clarificado na forma de compostos orgânicos. É provável, entretanto, que pelo efeito de hidrólise, algum fósforo desses compostos se precipite durante o transcorrer do processo.

A cal virgem poderá ser recebida a granel ou em contêineres. Se o recebimento for a granel é recomendada a armazenagem em silos para minimizar ataque químico pelo ar ambiente (  $\text{CO}_2$  e umidade ), que altera consideravelmente as suas características iniciais com o tempo, em detrimento de sua qualidade.



## Calagem - Continuação



Para uma boa operação do equipamento é recomendável a utilização de uma cal virgem de boa qualidade, de extinção rápida, para evitar principalmente acúmulo de pedras não extintas na câmara de hidratação, reduzindo assim possibilidade de danos mecânicos nos agitadores.

A granulometria exigida está entre 10 – 40 mm, e na utilização de cal micropulverizada deverão ser tomadas precauções devido a sua elevada reatividade, e formação de pó durante a descarga na moega de alimentação do hidratador de cal.

A adição do leite de cal ao caldo de cana em sua fase de clarificação é geralmente feita de maneira intermitente ou contínua. O mais usual nas usinas é a calagem contínua.

A calagem contínua está fundamentada no trabalho de se adicionar um volume de leite de cal proporcional ao volume de caldo que chega continuamente aos tanques de reação. A calagem contínua mais correta é aquela em que se faz o controle automático de pH. Entretanto, pelas dificuldades que oferecem ainda os aparelhos controlados de pH, é preciso ter um controle rigoroso neste procedimento.

### - Controle da adição do leite de cal :

A quantidade de leite de cal a ser utilizada na indústria açucareira varia com o processo de clarificação adotado, com a natureza do caldo, com o tipo de açúcar a ser fabricado, com a qualidade da cal, com o tipo de conservação da cal pela usina, etc.





## Calagem - Continuação

Evidentemente, o consumo de leite de cal será também função do teor de seu CaO disponível. Um leite de cal com baixo CaO disponível será consumido em grande quantidade. Quanto maior for o teor de CaO disponível da cal, melhor será a qualidade da suspensão obtida. De qualquer forma, o melhor procedimento da clarificação é aquele em que o pH final da reação seja conduzido para próximo da neutralidade, pois neste ponto se tem o mínimo de danos para a sacarose.

Como a finalidade do uso da cal é precipitar as impurezas, a determinação e controle de sua quantidade deve ser a mais correta pois, como se sabe, com muito leite de cal, os açúcares redutores são facilmente decompostos, com formação de produtos escuros que dificultam a decantação, a filtração e a cristalização.

Em caso de falta de leite de cal, o caldo permanece ácido, turvo, mesmo depois de decantado. Além disso, há perdas de sacarose por inversão.

A melhor forma de se controlar a alcalinização do caldo é através da determinação contínua do pH. Não se recomenda o controle pela acidez, pela pequena importância que se atribui aos ácidos ou aos alcalis presentes no caldo, quando comparados com a concentração de íons hidrogênios. O pH é realmente o melhor meio que determina as características de coagulação e precipitação dos colóides do caldo. Outro ponto importante no controle da calagem é a amostragem e o intervalo de controle.

São dois fatores interligados e passíveis de variação. A amostra de caldo deve ser retirada quando da saída do caldo para a fase de aquecimento, pois, neste ponto deve ter recebido a quantidade suficiente de leite de cal para atingir o pH desejado. O intervalo de medição da acidez do caldo, por sua vez, é função do tipo de controle adotado.

### - Controle através do pH:

O controle da calagem do caldo misto ou previamente sulfitado através do pH constitui o mais correto de todos os sistemas empregados para este fim.

O melhor controle é aquele feito por potenciômetro registrador e controlador do pH de forma contínua. O operador, quando do funcionamento da fabricação, após o aparelho devidamente instalado, fixa o pH desejado de trabalho, o qual é mantido automaticamente pelo aparelho.

## Controle do pH

- É fundamental um controle adequado do pH do caldo.	- Deve-se realizar uma limpeza automática da membrana duas vezes por turno.
- Frequentemente os problemas com o controle de pH são devidos a fatores operacionais.	- Eletrodos sujos podem dar a falsa impressão de um controle.
- Recomenda-se dar preferência aos eletrodos de imersão	- As instalações mais modernas possuem sondas retráteis instaladas em linha, com limpeza automática.



## Calagem - Continuação

As vantagens do uso do controle automático do pH são as seguintes:

- facilidade de instalação
- conservação fácil
- longa duração
- dão resultados de confiança, quando calibrados e limpos frequentemente
- maior economia de cal
- regula automaticamente o fluxo do leite de cal
- economia de mão de obra.

A coagulação observada no caldo para valores de pH acima de 6,0 está associada com a precipitação de fosfatos de cálcio, os quais possuem uma carga levemente positiva e este é o processo de calagem normalmente empregado pelas usinas.

Uma má floculação normalmente ocorre devido à deficiência em fosfato. Em alguns casos (cana velha) mesmo a adição normal de cálcio, não é suficiente para garantir uma boa floculação, pelo fato de que estes íons estejam formando complexos com o caldo e não ficam disponíveis para formação de cálcio desejado.

É evidente que ao lado da importância do pH e do tipo de açúcar a produzir ou do processo de clarificação, outros fatores, tais como, a industrialização de canas queimadas e não imediatamente cortadas, canas passadas ou "bis", geadas, broqueadas, etc., podem exercer grande influência no comportamento do caldo das diversas variedades de cana. Além desses fatores, muitas outras condições, tais como, paradas determinadas pela persistência das chuvas, por defeitos mecânicos dos equipamentos, etc., podem contribuir para o mau funcionamento da clarificação nas usinas de açúcar, mesmo em presença de teores aceitáveis de fosfato no caldo em processamento.



## Aquecimento do Caldo

A operação de aquecimento consiste em se elevar a temperatura do caldo por volta de 103°C – 105°C, visando remover albuminas e impurezas coloidais, induzindo nos decantadores a sua separação por floculação e precipitação. A temperatura do caldo não deve ultrapassar a 105°C, pois sendo superior, corre-se o risco das ceras se emulsificarem, tornando difícil a sua separação.

Para maior eficiência do processo, importante se torna considerar as velocidades de circulação do caldo e do vapor, ao mesmo tempo que se faz necessário a eliminação dos gases incondensáveis e dos condensados.

Problemas ocorrem quando o caldo não é aquecido à temperatura adequada:

- incompleta eliminação de gases e ar do caldo.
- formação de flocos deficientes devido às reações químicas que não se completam.
- coagulação incompleta, não permitindo a total remoção das impurezas e aumentando a turbidez do caldo clarificado.

No caso de temperaturas muito altas, os seguintes problemas poderão ocorrer:

- destruição e perda de açúcar.
- formação de cor no caldo devido à decomposição de substâncias orgânicas.
- caramelização do açúcar, causando aumento na coloração.
- consumo excessivo e desnecessário de vapor.

A maioria das proteínas presentes no caldo apresentam desnaturação quando aquecidas acima de 65°C, na qual o efeito mais visível é uma redução da solubilidade.

Ao lado da proteína, outros materiais carregados estão presentes adsorvidos na superfície das partículas ( polissacarídeos ) e, portanto, apesar da proteína estar sempre presente, há a possibilidade dela nem sempre ser a única responsável pela estabilidade do sistema.

A composição do material encontrado nas superfícies das partículas varia de caldo para caldo e já foi verificado que em alguns casos a floculação ocorre apenas pelo aquecimento. É sugerido que durante o aquecimento, novas camadas de materiais são superpostas às camadas originais, levando a uma alteração na estabilidade do sistema e conseqüentemente a resposta deste sistema à atração dos fosfatos de cálcio. Há duas razões para que esta deposição ocorra durante o aquecimento:

- o material é liberado de certas células plastídeas ( cloroplastos, clomoplastos, mitocôndrias, etc ) que arrebentam durante o aquecimento.
- a solubilidade de certos materiais macromoleculares presentes são alterados durante o aquecimento e a precipitação ocorre.





## **Aquecimento do Caldo - Continuação**

Outra constatação importante é a relacionada com o amido presente em suspensão. Verificou-se que a temperatura próximas de 60°C – 70°C não só ocorre a desnaturação da proteína e outros complexos orgânicos, como também a gelatinização do amido e uma parcela da desestabilização do sistema pode ser atribuída a este efeito, pois o amido em solução pode revestir a partícula, evitando a coagulação.

Um outro efeito importante do aquecimento é o relacionado com as velocidades das reações que são violentamente aumentadas com o aumento da temperatura.

### **- Temperatura do caldo alimentando o decantador:**

Após aquecimento a 105°C a sua passagem pelo balão de flash, a temperatura do caldo diminui para cerca de 98°C. Uma pequena variação nesta temperatura poderá ocorrer em função da altura da usina em relação ao nível do mar.

Caso a temperatura seja baixa, a decantação será mais difícil e incompleta levando a:

- menor velocidade de decantação das partículas em suspensão
- coagulação incompleta
- presença de bagacilho e sólidos no caldo clarificado

Na prática podemos constatar que a temperatura está baixa observando a chaminé do balão de flash. Se a quantidade de vapor saindo pela chaminé for muito pouca, a razão é a baixa temperatura do caldo após os aquecedores.

A queda de temperatura no interior do decantador deve ser a menor possível para obtermos uma boa decantação, e para tal a temperatura do caldo clarificado não deve ser inferior a 95°C. Temperaturas baixas levam também a um maior consumo de vapor na evaporação.

Os principais fatores que podem influenciar a queda de temperatura são:

- tempo de retenção muito longo. Se o caldo permanecer no interior do decantador por um tempo maior que o necessário poderá existir queda de temperatura.
- capacidade excessiva. Se a capacidade do decantador for maior que a necessária, poderemos ter quedas na temperatura devido ao aumento do tempo de retenção. Algumas vezes, quando a usina necessitar reduzir a moagem, pode ser necessária a parada de alguns decantadores.
- isolamento defeituoso. Os decantadores devem sempre ser bem isolados para evitar perdas de calor. Quando a temperatura do caldo é baixa podem ocorrer perdas de açúcar devido à ação de microorganismos, o que fatalmente acontece em temperaturas abaixo de 70°C. A falta ou deficiência no isolamento provocam o aparecimento de correntes no interior do decantador, que prejudicam a clarificação.

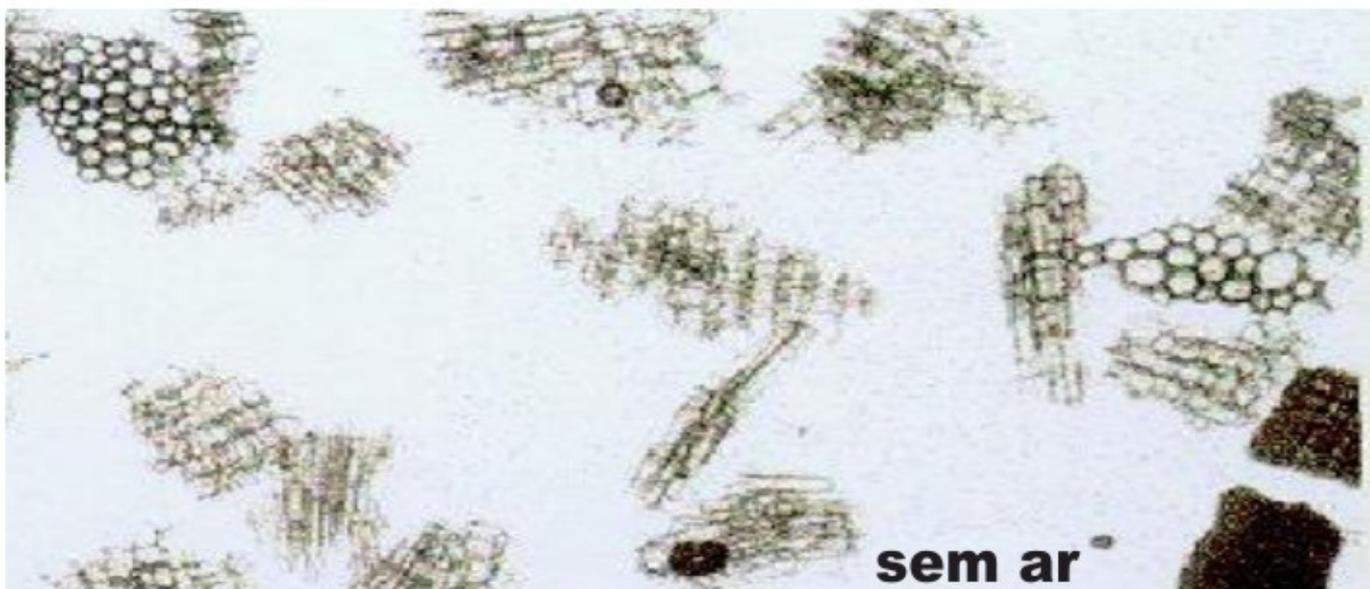
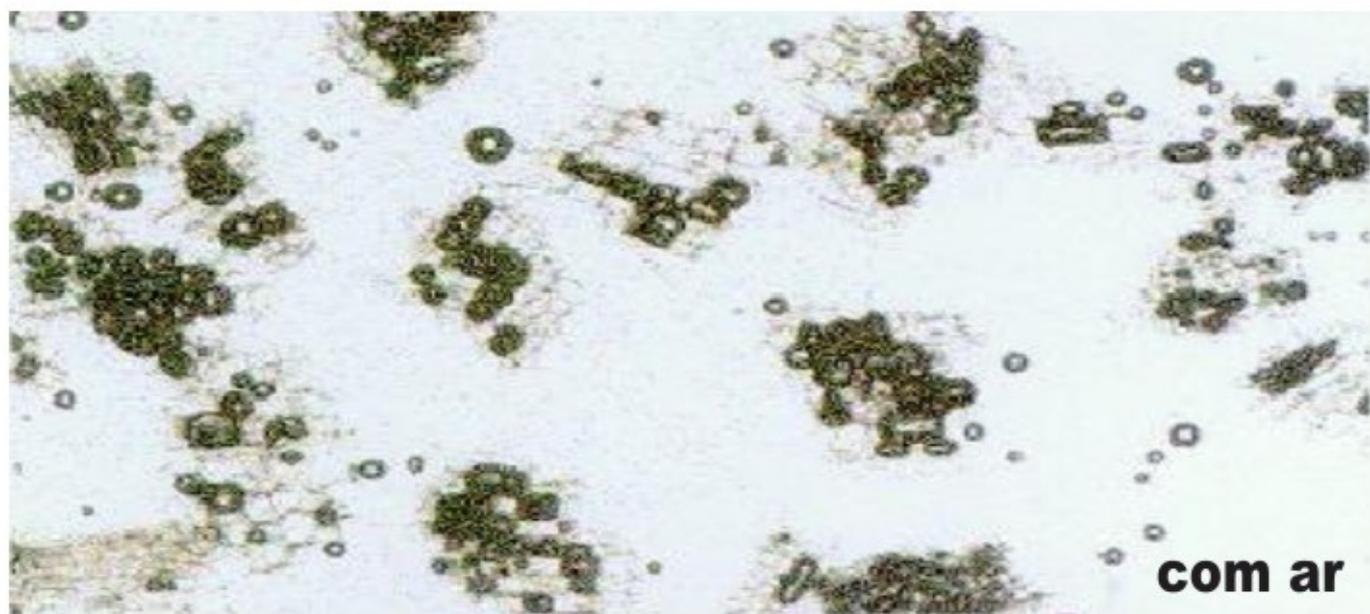


## Flashamento

Após o aquecimento o caldo vai para o balão de flash, que tem a função de liberar todas as partículas em suspensão das bolhas de ar que ali estão agregadas e que comprometeriam a decantação e clarificação, se não fossem retiradas.

O flashamento consiste na expansão brusca do caldo de sua pressão na tubulação para a pressão atmosférica. Esta ebulição explosiva e violenta elimina o ar e os gases dissolvidos contidos no caldo, inclusive aquele adsorvido na superfície das partículas de bagacilho.

Exemplos de bagacilho com bolhas de ar aderido :





## Flashamento - Continuação

**balão de flash**



**exemplo de um bom flashamento**





## **Flashamento - Continuação**

Em várias instalações é ainda hoje bastante comum encontrar o balão de flash subdimensionado em prejuízo do aquecimento do caldo.

Mais frequente ainda é a existência do balão de flash colocado no nível mais alto possível, de forma a alimentar todos os decantadores que, por sua vez, possuem desníveis entre eles e conseqüentemente maior arraste de ar e maior turbulência nos decantadores mais baixos.

O mais correto é que o nível de caldo no balão de flash seja o mesmo do caldo no interior do decantador. Em outros casos, deve-se prever a instalação de um controlador de nível entre os dois, de forma a sempre manter um selo líquido e evitar o arraste de ar com o caldo.

Cada instalação deve ser analisada isoladamente em virtude das particularidades de cada usina.



## Decantação do Caldo

O caldo de cana após sofrer tratamento químico e térmico, é colocado em repouso, para que haja remoção das impurezas por floculação e posterior sedimentação ou emersão.

Os principais objetivos da clarificação, do ponto de vista prático, são: a precipitação e a coagulação tão completa quanto possível dos colóides; uma rápida velocidade de assentamento; um mínimo volume de lodo; lodos densos, e a produção de um caldo mais claro possível.

Entretanto, esses objetivos podem não ser atingidos se:

- não houver a quantidade e qualidade do polímero
- temperatura e pH irregular do caldo
- nível alto de lodo dentro do decantador
- pobre presença de fósforo no caldo a decantar
- tempo de retenção do caldo nos decantadores

Como o processo de separação do precipitado formado no líquido é feita por sedimentação e muito raramente por filtração, a produção de flocos bem formados é muito importante.

A velocidade de sedimentação das partículas depende do seu tamanho, forma e densidade, bem como, da densidade e viscosidade do caldo.

Com a clarificação química, há formação de flóculos que se apresentam amorfos, com o emprego da temperatura, há um aumento na movimentação, pondo em contato umas partículas com as outras, o que faz aumentar o tamanho e a densidade dos mesmos. Além do mais, o calor desidrata os colóides e diminui a densidade e a viscosidade do meio.

Quando a clarificação não é bem conduzida, quer pela aplicação dos reagentes ou pela própria qualidade do caldo, observa-se que o seu pH varia de um compartimento a outro do decantador. Com essa irregularidade poderá ocorrer a inversão da sacarose e a destruição dos açúcares redutores dando formação a ácidos.

O tempo médio que o caldo deve permanecer no interior dos decantadores convencionais é de cerca de 3 horas. Nos decantadores tipo rápido e sem bandejas este tempo pode ser inferior a 1 hora.



## Decantação do Caldo - Continuação

O tempo de retenção do caldo a alta temperatura nos decantadores, tem um grande efeito sobre o caldo e os seus componentes. Assim é que, todas as vezes que se retém o caldo nos decantadores por um tempo muito longo, haverá destruição dos açúcares redutores e inversão da sacarose, com conseqüente redução na recuperação de açúcar e na sua qualidade. Quando o caldo extraído pelas moendas se mostra refratário, ou contém uma grande quantidade de matéria suspensa de baixa densidade, às vezes é necessário retê-lo por um tempo mais longo, necessitando, nestas condições, que a fábrica esteja equipada com uma capacidade excessiva de clarificadores. Isso pode ocorrer principalmente onde o corte e o carregamento são mecânicos.

Muitas vezes, o caldo do decantador apresenta um ganho de pureza, isso porque a levulose que é levorotatória é destruída, ficando apenas a glicose que é mais resistente e tem caráter ótico dextrógiro. Dessa forma, o valor da glicose somado ao da sacarose, causará um ágio de pureza. A pureza também é alterada porque o brix é diminuído, devido à destruição dos redutores e à formação de ácidos.

Muitas usinas se utilizam do coeficiente glucósico para avaliar a taxa de inversão. Esse coeficiente é dado pela reação:

$$C.G. = \frac{\text{Açúcar redutor \%} \times 100}{\text{Sacarose \% (Pol)}}$$

O uso desse coeficiente tem valor relativo, pois pode ocorrer que sacarose e açúcares redutores estejam sendo destruídos, e o valor permanece o mesmo.

A inversão nos decantadores é praticamente inevitável. Estima-se que a perda por inversão em condições normais, é da ordem de 0,2% a 0,3% da sacarose do meio. Em condições especiais, esse valor pode atingir a 1%.

No caso de uma eventual parada por chuva ou quebra mecânica ( quando não se esgota os decantadores ), os decantadores permanecem cheios e uma inevitável perda e destruição de açúcar ocorre, com um considerável aumento de cor no caldo, decréscimo na pureza e pH, esse último devido à formação de ácidos. Essas ocorrências negativas favorecem a perda de sacarose. Recomenda-se para que este fato não ocorra, proceder de forma normal na calagem e apenas 3 ou 4 horas antes da parada, elevar o pH para em torno de 7,8.

É aconselhável também, durante o transcorrer da safra, os decantadores serem liquidados de tempo em tempo para limpeza.

A limpeza dos clarificadores é necessária, pois, uma certa quantidade de lodo fica retida no aparelho, e como esse material é um excelente meio de cultura, as bactérias termófilas aí crescem e se multiplicam. Após um certo período de tempo, produzem gases que ao se deslocarem para superfície, turbilhonam o meio, prejudicando a sedimentação.



## Decantação do Caldo - Continuação

Um outro ponto importante a ser monitorado durante o processo de decantação, é a queda de pH do caldo clarificado. Chamamos de queda de pH a diferença entre os valores de pH do caldo entrando no decantador e do caldo clarificado saindo do decantador.

O valor da queda de pH não deve ser superior a 0,5, ou seja, o pH do caldo dosado deve ser 7,0 – 7,2 e o pH do caldo clarificado deve ficar entre 6,5 – 6,7.

As razões para grandes quedas de pH podem ser:

- aquecimento do caldo insuficiente
- temperaturas muito altas
- valores de pH elevados
- valores de pH baixos
- tempo de retenção muito longo
- nível de lodo alto dentro do decantador
- hidratação deficiente da cal

O motivo mais frequente da presença de bagacilho no caldo clarificado é a degasagem insuficiente do caldo, causado por:

- subdimensionamento do balão de flash
- nível do balão de flash muito superior ao nível do decantador
- temperatura do caldo na entrada do tanque de flash inconstante e insuficiente para uma boa degasagem
- presença de areia no balão de flash, reduz a área de flasheamento, reduzindo a eficiência da degasagem

Outras causas também podem ser citadas, como:

- floculação deficiente causada por erros operacionais ou insuficiência / desempenho do equipamento.
- tempo de decantação insuficiente
- excessivo retorno de sólidos via caldo clarificado devido à baixa retenção de sólidos nos filtros
- insuficiente dosagem de polímero
- elevado volume de lodo no decantador

A vazão do caldo clarificado na saída dos decantadores deve ser controlada com a finalidade de evitar o aparecimento de correntes e movimentos no interior do decantador.

As quantidades de caldo clarificado que saem de cada compartimento no caso de um decantador de bandeja, devem ser iguais. Isto pode ser conseguido com uma boa regulagem das canecas que controlam a saída de caldo do decantador.





## **Decantação do Caldo - Continuação**

Decantadores sem bandejas são ainda mais exigentes que os convencionais e a vazão de caldo deve ser sempre constante.

Durante o processo de decantação, a matéria suspensa e os colóides coagulados por uma das técnicas de clarificação e pelo aquecimento, se separam do caldo claro. Este corresponde de 80% a 90% do caldo original, e, quase que invariavelmente, segue para a fase de evaporação. Ao passo que o lodo, após sofrer diversos tratamentos vai à filtração, onde se separa o caldo do precipitado.

Todo o decantador deve ter um bom isolamento térmico para conservar a temperatura do caldo e evitar perdas térmicas.

A falta ou deficiência no isolamento, provocam o aparecimento de correntes no interior do decantador, que prejudicam a clarificação.

Um importante fator para a performance dos decantadores é a velocidade do caldo entrando no decantador. Altas velocidades provocam turbulências, que danificam os flocos já formados e tornam a decantação deficiente.

Maiores cuidados são exigidos nas usinas em que operam com vários decantadores onde a distribuição do caldo deve ser proporcional à capacidade de cada decantador.

Uma clarificação eficiente está sempre relacionada com a correta formação de flocos, resultando de um bom desempenho das etapas anteriores de tratamento físico e químico do caldo.

Após a saída do caldo clarificado dos decantadores, este deve passar pelo processo de peneiragem, com o objetivo de eliminar partículas em suspensão que podem acompanhar o caldo após a decantação.

As peneiras mais utilizadas são dos tipos estática ou rotativa. A tela utilizada pode ser de aço inoxidável ou poliéster, com abertura variando de 100 mesh (0,15 mm) a 200 mesh (0,074 mm).

O peneiramento pode ocasionar queda de temperatura e também a contaminação do caldo, sendo portanto necessário manter o equipamento em boas condições de operação.

A limpeza frequente das peneiras evita a perda de capacidade e a possibilidade de contaminação. Geralmente utiliza-se água sob pressão ou vapor na limpeza das peneiras, e muito cuidado deve ser tomado para que as telas não sejam danificadas.

Apesar do maior investimento inicial, testes realizados mostraram maior eficiência da peneira rotativa, além de apresentar outras vantagens como menor perda de calor, limpeza automatizada, etc.





## Flotação

A qualidade do açúcar está associada diretamente à eficiência do processo de clarificação do xarope. A falta de um tratamento eficaz do xarope, traduz em um açúcar de menor qualidade, com a presença de cor, impurezas e pontos pretos.

O processo de flotação vem sendo empregado há muito tempo para a clarificação de xarope e calda de açúcar, sendo reconhecido como uma ferramenta eficiente para a garantia de obtenção de um açúcar de melhor qualidade, especialmente em condições adversas da matéria prima.

A flotação é um processo de separação sólido-líquido onde os materiais em suspensão são aderidos a bolhas de ar, tornando-os mais leves que o meio em que se encontram. Os flocos formados, tendem a flutuar na superfície do meio, de onde são removidos na forma de um lodo ou espuma. A flotação de xarope envolve as etapas principais de condicionamento, ajuste de temperatura, aeração, macrofloculação e separação de fases.

A etapa inicial de condicionamento consiste no "preparo" das partículas presentes no meio para a flotação, através de um ou mais processos físico-químicos que tornam essas partículas hidrófobas (aversão à água), forçando a sua precipitação na forma de pequenos flocos (microflocos) de separação mais fácil. Para que a reação de precipitação seja bem conduzida é fundamental prejetar-se adequadamente os pontos de adição de produtos químicos. Para tanto, deve ser considerado, entre outros, o tempo de reação de cada produto, bem como a homogeneização necessária do meio.

Após o condicionamento, pode ser necessária uma etapa de aquecimento para acelerar as reações de condicionamento e reduzir a viscosidade do meio. A seguir, tem-se a etapa de aeração, onde é feita a adição de microbolhas de ar que vão se unir às partículas a serem separadas do meio, tornando-as menos densas que o líquido e, portanto propensas à flotação.

O tamanho e a quantidade de bolhas de ar geradas são fundamentais para o bom desempenho do processo. Bolhas muito grandes causam turbulência no meio, impedindo o contato dessas com as partículas. De forma ideal, as bolhas de ar e as partículas devem ter tamanhos semelhantes, variando entre 10 e 200 micra. Abaixo de 10 micra a flotação é muito lenta e, pela hidrodinâmica do líquido, o contato entre bolhas e partículas é mais difícil. Acima de 200 micra, as bolhas são grandes e causam turbulência no líquido. Sistemas de aeração inadequados comprometem o desempenho de toda a unidade de flotação, consistindo em uma das deficiências mais usualmente observadas nas unidades de flotação existentes.



## Flotação - Continuação

Uma etapa complementar de macrofloculação é necessária para agrupar as partículas ( ou microflocos ) com as bolhas de ar, formando grandes flocos ( macroflocos ) de baixa densidade. O aumento do diâmetro da partícula pode ser obtido com a adição de um agente floculante, que provoca a aglomeração de várias partículas em um floco. Entretanto, existe um limite ótimo para o aumento de diâmetro por floculação. A partir de um determinado tamanho, um pequeno aumento no diâmetro do floco requer a adesão de um grande número de partículas, exigindo por sua vez, uma grande quantidade de agente floculante. O excesso de adição de floculante é comum ocorrer em unidades existentes como forma de compensação de problemas de projeto e de operação.

A separação das fases é realizada em um tanque flotador, onde as partículas ou flocos menos densos que o líquido encontram condições favoráveis para se deslocar em relação ao líquido, acumulando na superfície como uma densa espuma ( lodo ) que é removida por raspadores mecânicos de superfície. Tal remoção deve ser adequada para manter uma camada de lodo ideal que favoreça a concentração das impurezas sem propiciar a destruição dos flocos flotados. Após a remoção dessa espuma, tem-se uma fase líquida isenta de partículas e flocos em suspensão.

### **Sistemas de aeração:**

Devido à sua importância, a etapa de aeração pode ser considerada o coração do processo de flotação. Existem formas diferentes pelas quais as bolhas de ar podem ser introduzidas no processo, sendo as mais usuais para a flotação de xarope a dispersão mecânica do ar ( flotação por ar disperso ) e a dissolução e posterior nucleação do ar na suspensão ( flotação por ar dissolvido ). Em geral, a introdução de ar por dispersão mecânica ocorre pelo borbulhamento de ar ( natural ou forçado ) sob as pás de um agitador a alta velocidade ou pelo borbulhamento de ar através de uma membrana porosa. A formação de pequenas bolhas de ar ocorre pelo atrito entre as grandes bolhas introduzidas no meio e o líquido que se desloca a altas velocidades. Como vantagem, esse processo apresenta a possibilidade de introduzir no líquido uma grande quantidade de ar. Por outro lado, as bolhas formadas são relativamente grandes, dificultando a sua adesão às partículas. Além disso, a grande turbulência causada pelo borbulhador pode provocar a quebra dos flocos formados, além de um considerável consumo de energia.

A flotação por ar dissolvido baseia-se no princípio da solubilidade de um gás em um líquido ser maior quanto maior for a pressão estática no meio. A aeração por ar dissolvido é obtida pela pressurização inicial do líquido ( ou de parte dele ), em contato com ar que nele é borbulhado, causando a sua dissolução no meio. Em seguida a pressão do meio é reduzida, tomando o líquido supersaturado. Ocorre então a nucleação / precipitação do excesso de ar na forma de minúsculas bolhas ( microbolhas ), que se formam, preferencialmente junto às partículas em suspensão, que agem como núcleos de precipitação. Nesse processo, as bolhas de ar formadas são muito pequenas ( possibilitando a separação de partículas de dimensões reduzidas ), e se formam exatamente onde devem "atuar", ou seja, junto às partículas, o que se constitui numa grande vantagem do processo. Em contrapartida, a desvantagem desse princípio, está na limitação prática da quantidade de ar que pode ser adicionada, a qual depende da diferença entre as solubilidades do ar no meio à alta e à baixa pressão.





## Flotação - Continuação

Como a solubilidade do ar em soluções aquosas decresce com o aumento da temperatura e com o aumento do teor de sólidos dissolvidos ( brix ), em processos conduzidos à quente e ou com elevado teor de sólidos dissolvidos, a quantidade de ar disponível para a flotação pode ser reduzida e, em muitos casos, insuficiente para promover a flotação de todas as partículas em suspensão. É comum observar-se unidades de flotação de xarope por ar dissolvido que não operam bem quando o brix ou a temperatura do xarope aumenta. Outra desvantagem desse processo consiste no maior consumo de energia e na necessidade de um compressor para a adição do ar ao meio.

### **- Sistemas de aeração por ejetores de mistura:**

Uma interessante forma de aeração, que combina vantagens dos dois processos anteriores, sem contudo, incorporar suas respectivas desvantagens, consiste na aeração com ejetores de mistura. No interior desses sistemas ( Figura abaixo ), o líquido é acelerado em um venturi, trocando pressão estática por velocidade de escoamento. Com isso, gera-se vácuo à saída do bico ejetor, que succiona o ar atmosférico que flui paralelamente com o líquido em direção à câmara de mistura do equipamento. Nessa câmara ocorre a desaceleração do meio e a consequente permuta de velocidade de escoamento por energia de cisalhamento e pressão estática. Em determinado ponto dessa câmara ( zona de choque ), ocorre um "choque" do ar com o líquido promovendo um íntimo contato entre as fases. Na zona de choque, a pressão estática eleva-se instantaneamente, ao mesmo tempo em que o atrito e o cisalhamento causados provocam a dispersão do ar no líquido na forma de microbolhas. A mistura líquido-ar passa então por um cone divergente, onde é concluída a permuta velocidade-pressão estática. Com o aumento da pressão estática, tem-se a dissolução de parte do ar disperso no meio, originando um meio praticamente saturado com ar dissolvido, contendo também uma grande quantidade de microbolhas de ar, finamente divididas e dispersas. Dessa forma, na aeração com ejetores de mistura, as bolhas são produzidas tanto por processo de ar dissolvido quanto por processo de ar disperso, sem limitações práticas da quantidade de ar que pode ser adicionada e sem a necessidade de compressores de ar, garantindo-se ótima eficiência com baixo investimento e reduzindo consumo energético, mesmo quando operando com brix e temperatura de xarope elevados.



## Flotação - Continuação



### - Custos e benefícios:

Os benefícios diretos de operação de uma unidade de flotação de xarope são, em grande parte, devidos ao aumento do valor agregado ao açúcar de melhor qualidade produzido, sendo este benefício definido pelo mercado e, conseqüentemente, dependente de suas oscilações.

Do lado dos custos, o gasto com produtos químicos auxiliares do processo representa um dos itens de maior peso e depende, entre outros, da eficiência da unidade. Tecnologias obsoletas, além de não garantir a obtenção da qualidade do produto final, favorecem a adição de maior quantidade de produtos químicos como forma de compensação de suas deficiências, o que em muitos casos, inviabiliza a sua operação.

Considerando-se a tendência do mercado de açúcar de um lado e a disponibilidade de tecnologias mais confiáveis, que apresentem menores custos operacionais por outro lado, o mercado de unidades de flotação de xarope mostra-se bastante promissor, tanto para a implantação de novas unidades quanto para a otimização de unidades existentes.



## Flotação - Continuação

### **- Otimização de unidades existentes:**

Grande parte das unidades de flotação de xarope existentes apresenta deficiências de concepção e de projeto importantes que podem ser otimizadas. De forma geral, as seguintes deficiências podem ser observadas em unidades existentes:

- Sistemas de aeração deficientes: quando as bolhas de ar geradas são muito grandes ou em vazão insuficiente, os flocos formados não flutam, restando dispersos no meio;

- Turbulência na entrada do xarope: em circuitos de alimentação do xarope ao flutador que compreendem muitos obstáculos e/ou mudanças bruscas de fluxo, ocorre turbulência excessiva do meio que tende a destruir os flocos formados nas etapas anteriores, comprometendo a etapa de flotação;

- Localização inadequada dos pontos de adição de produtos: para ocorrerem as reações de micro e macro-floculação, é necessário que a admissão dos produtos químicos seja feita nos pontos corretos. Os produtos auxiliares de floculação atuais tendem a requerer tempos de reação muito inferiores àqueles requeridos no passado;

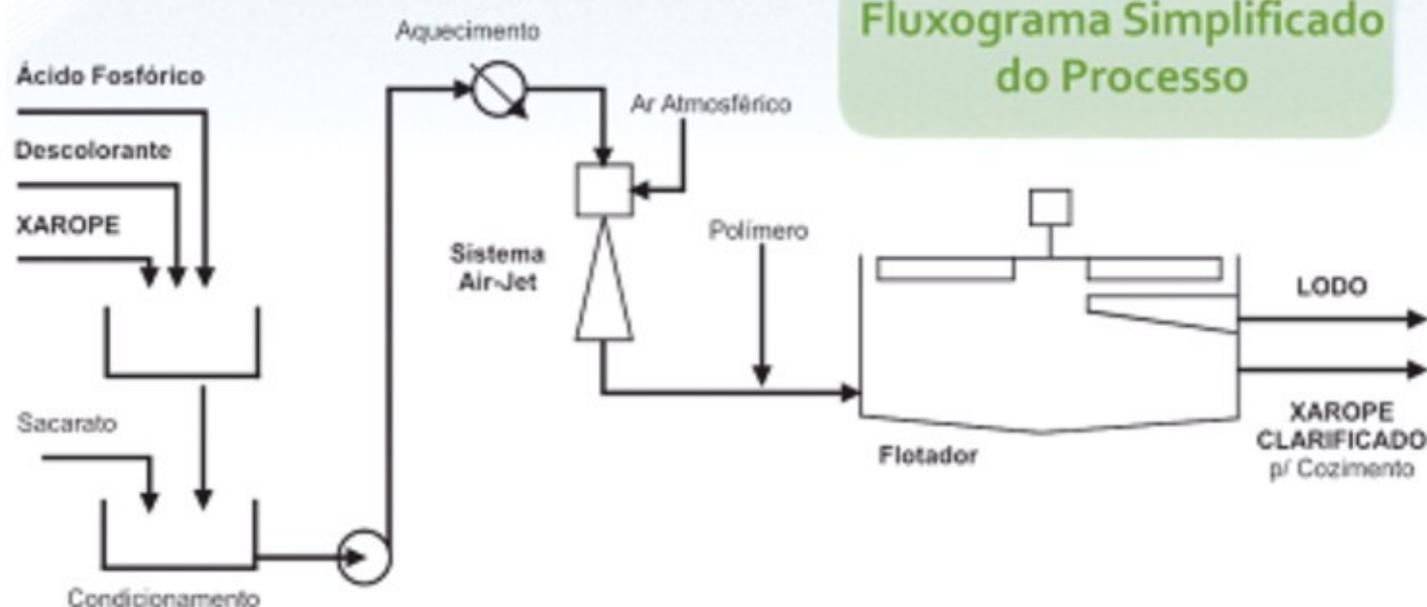
- Sistema de raspagem de lodo ineficiente: raspadores de lodo de fluxo radial favorecem o acúmulo de lodo nos tanques de flotação, levando à desagregação dos flocos formados e flotados, e posterior arraste destes com o xarope tratado.

O processo é apresentado na figura abaixo. A primeira etapa consiste no sequestro das impurezas que dão cor ao xarope, através da adição de produto surfactante catiônico, em geral uma poliamina acíclica ou um quaternário de amônio derivado de ácidos graxos, que age especificamente junto aos compostos colorantes do xarope. O surfactante ( positivo ) e os compostos colorantes ( negativos ) se aderem físico-quimicamente através de seus sítios polares, formando um precipitado insolúvel de natureza hidrofóbica. Devido ao seu custo considerável, o agente descolorante deve ser dosado com cuidado, de acordo com a sua necessidade. Em casos onde a cor do açúcar já se encontra próxima à faixa desejada, a adição de agente descolorante pode ser reduzida significativamente, ou até mesmo suprimida. Após a adição de descolorante, ocorre a etapa de microfloculação das impurezas, com a adição de ácido fosfórico ( ou outra fonte de fósforo ) e sacarato de cálcio ( mistura de caldo de cana ou xarope com hidróxido de cálcio ). Em pH apropriado, tais produtos reagem para formar o sal insolúvel de fosfato de cálcio, que promove a co-precipitação das impurezas no xarope, incorporando-as aos seus flocos.



## Flotação - Continuação

A microfloculação, por si só, é responsável por uma considerável redução na turbidez e na quantidade das partículas em suspensão no xarope, assim como alguma redução na sua cor bruta. Quando não é feita a adição de descolorante, a cor ICUMSA do xarope sofre apenas uma pequena redução durante a etapa de microfloculação. Com a etapa de microfloculação tem-se uma redução nos resíduos insolúveis e pontos pretos até níveis bastante baixos, juntamente com um aumento na reflectância do açúcar e uma pequena redução na sua cor ICUMSA.



Após a microfloculação, o xarope é aquecido a  $80^{\circ}\text{C}$  –  $85^{\circ}\text{C}$  para reduzir a viscosidade do meio, acelerar as reações de precipitação e floculação da etapa anterior, e reduzir a solubilidade do sal de fosfato de cálcio que, ao contrário de outros sais, é menos solúvel à quente do que à frio. Para evitar incrustação nos aquecedores de xarope, o sacarato de cálcio pode ser adicionado ao xarope após o aquecimento. Em seguida, o xarope segue para a etapa de aeração em ejetores de mistura. Nos aeradores, o ar atmosférico é admitido e cisalhado em minúsculas bolhas pela ação da energia cinética que é transferida do xarope que se desloca em alta velocidade. Ao mesmo tempo, uma fração do ar admitido no processo é dissolvida no xarope em consequência do perfil de pressões que existe no interior do aerador. Pelas características do sistema, que concilia a aeração por ar disperso com a aeração por ar dissolvido, a aeração obtida permite a introdução de bolhas de ar na quantidade e qualidade necessárias para a perfeita flotação de todas as impurezas presentes no meio, qualquer que seja a natureza do xarope.



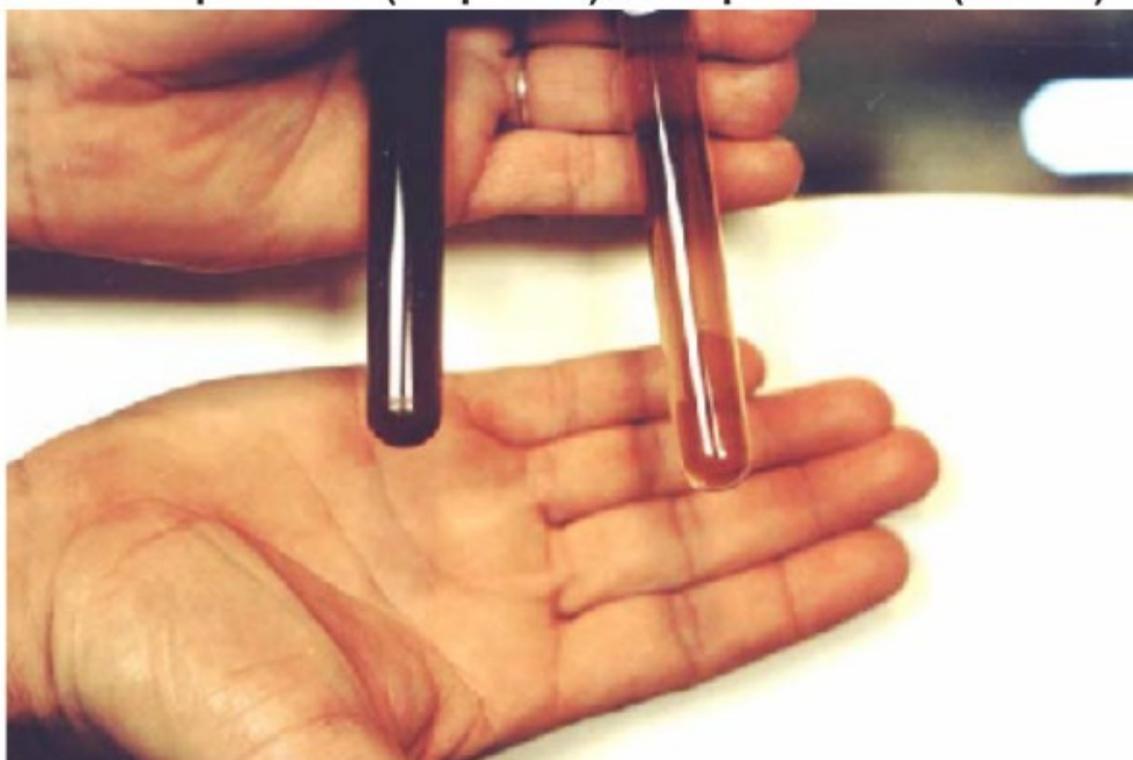
## Flotação - Continuação

A vazão total de ar admitida ao processo depende do teor de impurezas, sendo monitorada em rotâmetro de ar. Devido à sua natureza hidrofóbica, os flocos constituídos pelos precipitados que foram formados pelos colorantes e o surfactante ( agente descolorante ) se aderem firmamente às bolhas de ar, formando flocos bastante estáveis.

Depois da aeração, ocorre a etapa de macrofloculação das impurezas através da acção de um polieletrólito floculante aniônico à base de poliácridamidas. O polímero se agrega a vários microflocos de impurezas, formando macroflocos que, ao se formarem, aprisionam as bolhas de ar que se encontram dispersas no meio. Os macroflocos assim formados apresentam densidade inferior à densidade do xarope.

No flotador os flocos aerados se deslocam em regime laminar em direção à superfície do equipamento, onde se acumulam formando uma espessa e escura camada de lodo. Ao mesmo tempo, o xarope clarificado com coloração, turbidez e viscosidade reduzida, e isento de impurezas em suspensão, se acumula na parte inferior do flotador. O lodo sobrenadante é removido do sistema por meio de raspadores de superfície, sendo normalmente enviado para o tanque de caldo misto. O xarope clarificado, por sua vez, é removido pelo fundo do flotador e enviado para a etapa de cozimento. A concentração e a espessura da camada de lodo flotado são reguladas através do nível de operação do flotador, que é ajustado através de uma válvula de controle de nível do tanque.

### **Xarope Bruto (esquerda) Xarope Flotado (direita)**





## Flotação - Continuação



Detalhe do flotador: a borra e raspador



## Filtro Prensa

O mecanismo de filtração, no caso mais geral, envolve o escoamento de fluídos pelos interstícios de camadas porosas de sólidos que constituem o bolo. Durante a operação de filtração, o bolo vai se espessando, aumentando portanto a distância a ser percorrida pelo fluído que vai atravessar o bolo e o meio filtrante. Durante a filtração industrial, o bolo fica sujeito a pressões crescentes, que modificam sua porosidade. Esse fato e outros, fazem com que o estudo do mecanismo de filtração seja bastante difícil. A maioria dos trabalhos modernos sobre mecanismo de filtração, estudam a influência da permeabilidade de camadas porosas, e dos parâmetros que a modificam, no escoamento dos fluídos.

Os filtros à vácuo, de tambor rotativo, são os mais utilizados nas usinas de açúcar e álcool para filtrar o lodo do decantador e recuperar o açúcar contido neste. A filtração à vácuo é realizada criando-se uma pressão negativa abaixo do meio filtrante e lavando o lodo com água. O filtrado resultante contém açúcar que retornará ao processo.



Exemplo de lodo bem compacto com polímero



## Filtro Prensa - Continuação

Os principais parâmetros que devem se observar durante um teste em laboratório no caso de filtro prensa são:

- velocidade de drenagem nos primeiros 10 seg.
- a qualidade do filtrado, turbidez e presença de sólidos
- avaliar a eficiência a uma baixa dosagem e alta dosagem de polímero

Já nos testes em campo devemos observar:

- o ponto de injeção de polímero, muito perto ou muito longe da entrada de lodo no filtro prensa
- a velocidade da cinta do filtro, muito alta ou baixa, o que compromete na perda de %Pol.
- tamanho dos flocos
- secagem da torta, umidade abaixo de 75% é considerada ideal
- qualidade do filtrado

Na otimização de um filtro prensa, devem-se observar os seguintes parâmetros:

- **Condições de mistura:** a mistura deve ser otimizada para obter os melhores tamanhos dos flocos para a drenagem. É necessário regular a velocidade do agitador; definir o melhor ponto de injeção de polímero; e verificar a distribuição de lodo na tela.

- **Sistema de lavagem:** Se as telas não estão perfeitamente limpas, é impossível ter uma boa drenagem. Deve-se verificar todos os parâmetros como fluxo de água; pressão da mesma a limpeza das mangueiras caso estejam entupidas. Para uma boa lavagem é essencial que a água utilizada esteja limpa e quente a uma pressão constante. Os condensados de aquecedores, vácuos e evaporação são boas fontes de água quente. A temperatura desta deve estar em torno de 80°C. Ela deve passar por um filtro para remover material em suspensão, que entupiria os bicos. A pressão da água deve ser superior a 1 Kgf/cm<sup>2</sup>. O filtro de água deve ser inspecionado para se observar a existência de entupimento, e se ocorrer a quantidade de água diminui consideravelmente. Em certas ocasiões as aberturas de saída dos bicos aspersores se danificam ou desgastam, necessitando substituição dos mesmos. Quando o filtro de água não recebe a devida atenção, os bicos podem entupir, alterando o formato dos jatos de água e neste caso a lavagem da torta será prejudicada. Para que a lavagem da torta e a recuperação do açúcar sejam eficientes, todos os bicos aspersores devem funcionar corretamente.

- **Fluxos:** se a estrutura dos flocos não está otimizada, a drenagem será ruim. Para melhorar os resultados, é necessário ajustar os fluxos de lodo, deve ser o mais constante possível; fluxo de polímero, de preferência ser automatizado com a vazão de lodo; e a pós diluição, mantendo uma diluição uniforme, ou seja a quantidade de sólidos ideal para uma boa floculação e filtração.



## Filtro Prensa - Continuação

- **Floculação**: quando a floculação não está satisfatória, é necessário diminuir à mínima dosagem e ir aumentando gradativamente até se obter melhores resultados.

- **Drenagem ( Perda de açúcar no lodo )**: quanto mais rápido for o deságue, mas seco será o lodo que chegará à zona de pressão, contribuindo assim para uma redução na perda de açúcar. Nesse item deve-se verificar a eficiência da lavagem das telas.

- **Alimentação de lodo ( Perda de açúcar no lodo )**: quanto maior for a velocidade de rotação, mais fina será a camada de torta. A espessura da camada de torta deve ser observada constantemente e corrigida sempre que necessário para manter a espessura entre 7 mm e 10 mm. Se a camada for grossa teremos elevada pol e umidade na torta. Com camadas finas temos redução na capacidade do filtro, riscos de entupimento e caldo filtrado com elevada turbidez ( baixa retenção ).

A seleção do floculante deve ser exata para obter uma melhor performance. Alguns parâmetros são importantes como: ajustar a pós diluição, peso molecular, estrutura molecular e ajuste da concentração de polímero.

O dimensionamento de um filtro prensa para o tratamento de lodo deve levar em consideração alguns parâmetros tais como: terra na cana, bagacilho no caldo misto, quantidade de insolúveis que são arrastados pelo caldo até o decantador, enxofre e cal ( se adicionado ao caldo misto ), outros materiais de fundo orgânico ( bagacilho complementar, não açúcares, ceras e polímeros naturais insolúveis), que ao entrarem no decantador, que também por sua eficiência de decantação gera uma determinada quantidade de lodo que deve ser processado pelos filtros.

Se considerarmos que duas indústrias com mesma capacidade de moagem apresentarem diferenças nestas variáveis, teremos então um balanço de massa distinto com relação à geração de torta. Então concluímos que um filtro dimensionado para uma indústria pode não cumprir com os requisitos da outra, logo, o dimensionamento de um filtro deve levar em conta mais que a moagem diária, principalmente este simples balanço de massa, ou seja, um fator de suma importância no rendimento de um filtro está relacionado com a quantidade de lodo/torta de que é capaz de processar.

Em outras palavras, em uma indústria onde a quantidade de torta gerada pela combinação destas variáveis gera uma quantidade de torta de 30 Kg de torta/ ton. cana necessita de um filtro "menor" que outra que gera 50 Kg de torta/ton. cana, mesmo que a moagem seja exatamente a mesma.

Casos comuns de subdimensionamento de equipamentos de filtração, causam para a indústria, perdas irreparáveis já na primeira safra, o que se agrava com o passar dos anos obrigando ao industrial adquirir outros equipamentos complementares para suprir a carência.





## Decantação de Fuligem

As vantagens de um sistema de decantação de fuligem são:

- reutilização da água, gerando grande economia
- redução da emissão de fuligem na atmosfera
- redução dos custos com manutenção dos bicos dos lavadores
- geração de benefícios ambientais, sociais e econômicos
- maior sustentabilidade da empresa.

Para atender às regulamentações ambientais de hoje, os gases emitidos por caldeiras que utilizam bagaço de cana e outros tipos de biomassa similares devem, obrigatoriamente, passar por uma etapa de lavagem eficiente para remoção das partículas sólidas que são arrastadas. A opção de lavagem de gases via úmida, embora adequada e barata, esbarra na dificuldade de contar com um processo eficiente de remoção da fuligem da água.

No caso das usinas de açúcar e álcool, principalmente nesse momento em que há uma grande ampliação de parques industriais para atender aos programas de co-geração de energia, deve ser dada atenção prioritária ao tratamento dos efluentes gerados na lavagem dos cinzeiros e dos gases emitidos pelas caldeiras. Assim, é mister a adoção de uma tecnologia que permita a remoção total das partículas sólidas destas correntes, bem como o reaproveitamento da água utilizada no processo.

Na queima de bagaço de cana nas caldeiras, a parte mais leve dos sólidos residuais é arrastada junto aos gases de exaustão, requerendo a instalação de sistemas de remoção dos sólidos desses gases, para que estes se enquadrem aos parâmetros exigidos pela legislação ambiental. Os sólidos não arrastados pelos gases se depositam nos cinzeiros das caldeiras e também precisam ser removidos, para evitar a obstrução do equipamento e a perda de eficiência.

A qualidade e a quantidade dos sólidos residuais oriundos da queima do bagaço independem dos sistemas de limpeza a serem empregados. Sua qualificação e quantificação, embora extremamente difícil de serem previstas, são fundamentais para um adequado dimensionamento dos sistemas de limpeza.

De forma geral, os sólidos residuais compreendem, além de fuligem de bagaço, grande quantidade de material não queimado e resíduos minerais oriundos do solo ( areia e argila ). O total de fuligem esperado pode ser relacionado diretamente à capacidade de geração de vapor da caldeira. A quantidade de bagaço mal queimado depende da eficiência de queima da caldeira, a qual depende do tipo e das condições operacionais do equipamento. Caldeiras mais modernas, tendem a gerar menos bagaço mal queimado. Os sólidos minerais dependem dos processos de colheita e transporte da cana, bem como, da existência e dos tipos de sistemas de lavagem da cana na indústria. Com o aumento da colheita mecanizada, e conseqüente redução da utilização de água de lavagem na cana, maior quantidade desses sólidos vem sendo admitida nas caldeiras.

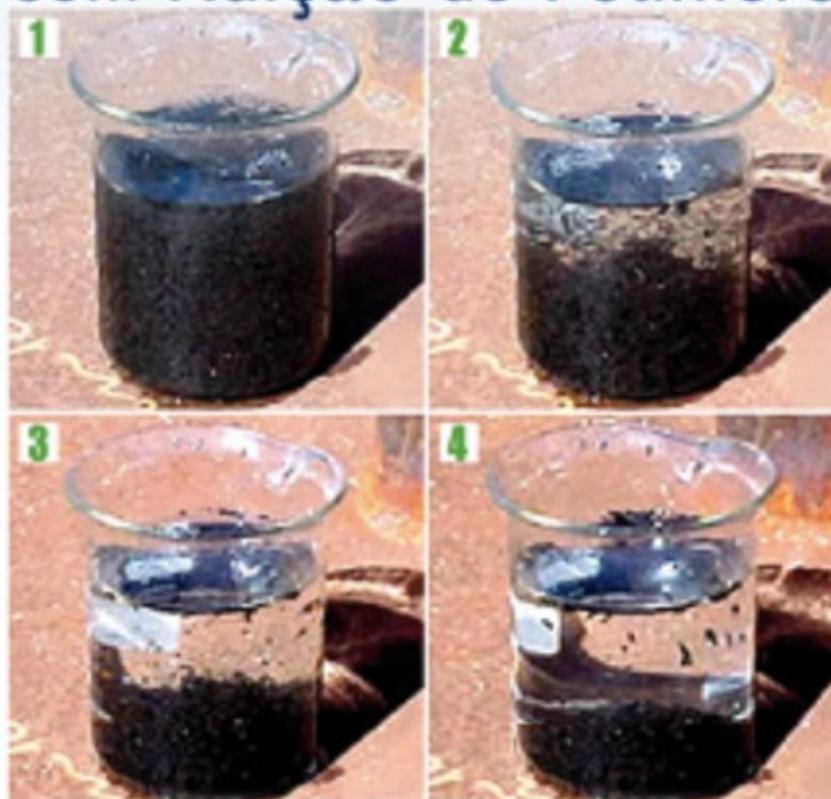


## Decantação de Fuligem - Continuação

Importante ainda salientar que cada um dos sólidos mencionados acima apresenta características diferentes de densidade e granulometria, que afetam em muito o comportamento frente aos processos usuais de separação.

Uma vez separados, os resíduos de queima precisam ser removidos da indústria. A viabilidade de implantação de sistemas de limpeza depende, em muito, dos sistemas a serem empregados para o manuseio e transporte desses sólidos. A prática de lançamento destes resíduos na água de lavagem da cana vem se tornando cada dia mais inviável. Por um lado, as pressões ambientais para despejos hídricos e, por outro, os custos da água e os próprios requisitos do processo industrial, vem exigindo a introdução de sistemas de reciclo de água em circuito fechados e independentes. Para viabilizar a sua remoção da indústria por via rodoviária, os sólidos residuais devem ser concentrados, transportados e dispostos de forma apropriada, evitando-se ao máximo a necessidade de utilização de pás carregadeiras, correias transportadoras e equipamentos similares que apresentam altos custos de investimento, operação e manutenção.

### Processo de Decantação com Adição de Polímero





## Decantação de Fuligem - Continuação

- Modelo de um processo de decantação de fuligem com filtro à vácuo para remoção da fuligem



**Sistema de Decantação Fuligem**



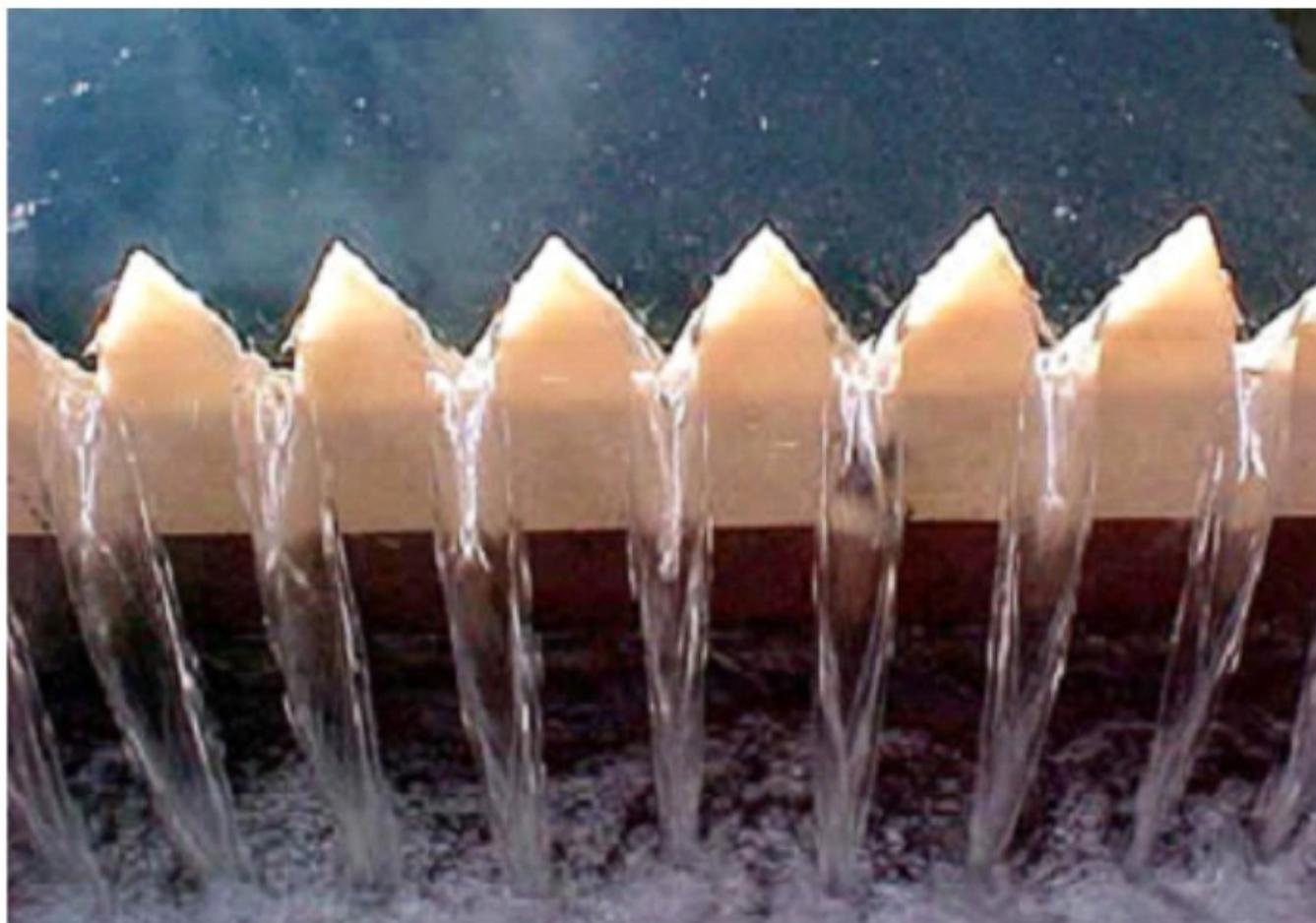


## Decantação de Fuligem - Continuação

A lavagem da fuligem é feita da seguinte maneira: no interior do lavador, encontram-se bicos espargidores de água, onde as partículas sólidas, depois de umedecidas, precipitam-se devido o aumento de peso, permitindo a decantação por gravidade; a baixa velocidade de ascensão dos gases; a ação de jatos de água, que direcionam as partículas para o fundo do lavador.

Estima-se que a emissão de material particulado resultante da combustão do bagaço seja de 2,2 a 3,6 Kg/Ton. cana, sendo que 80% são lançados na atmosfera e 20% são depositados nas fornalhas, cinzeiros e salões das caldeiras e retirados por corrente contínua de água.

O ajuste da decantação é minucioso, uma vez que não há uma regra de comportamento da fuligem com o polímero ( aniônico ou catiônico ), necessitando vários testes até se conseguir uma dosagem ideal. Depende muito da quantidade de material mineral para ajuste dessa dosagem, ocorrendo muitas vezes de se obter melhores resultados com polímeros catiônicos e em determinadas plantas, com polímero aniônico, independentemente do pH da água da fuligem. Abaixo, representado na figura, seria a qualidade da água ideal para retornar para um lavador de fuligem após a decantação com o polímero.





**Skills Química®**

**SNF FLOERGER**

## **Agradecimento**

A elaboração dessa apostila só foi possível graças a dedicação e empenho de muitas pessoas ligadas a área técnica de açúcar e álcool e colaboradores da Skills Química.

## **Equipe Técnica**

**Antonio Henrique Lima**

**Nivaldo Luiz Esteves Junior**

**Rodrigo Ferrari Castilho**

**Adalton Aparecido Casagrande**

**Renata Massolini Baldon**