

# PROJETO SEM GOSSIPOL

Produzir o algodão e trabalhar a matéria prima nas suas diversas fases é uma arte, que poucos sabem fazer com excelência. Desde o plantio e os tratos culturais, a colheita e o beneficiamento é preciso muito trabalho, tecnologia, planejamento, dedicação e competência.

O presente trabalho tem como objetivo dar uma visão geral e apresentar as diferentes tecnologias de processamento de caroço de algodão, as vantagens e desvantagens de cada processo, e definir a melhor opção para o cliente, como se fosse para nós mesmo, a qual usamos um termo conhecido como ENGENHARIA DO PROPRIETÁRIO, onde os processos foram selecionados "sob medida", com a melhor relação custo/benefício, tendo em vista a disponibilidade de matéria prima, a localização do site, desenvolvimento de novos produtos, mercados consumidores, etc..

É preciso tomar muito cuidado na escolha das tecnologias, equipamentos e respectivos fornecedores, pois são muitas opções e variáveis que selecionamos, para garantir os resultados propostos. As premissas básicas do projeto são: processamento de caroço de algodão, para obter linter de alta qualidade, óleo de algodão de primeira linha, farelos com baixo conteúdo de gossipol livre, com opções de variação de produtos de baixa fibra e alta proteína, sempre buscando as melhores alternativas possíveis de tecnologia e produção sustentável.



#### **INFORMAÇÕES GERAIS:**

O algodoeiro fornece a fibra, que representa cerca de 1/3 de pluma e é a fração de maior valor agregado, enquanto a casca/semente, representa 2/3 do algodão, que apesar de ter menor valor agregado, tem grande potencial, à medida que que gerem produtos de maior valor agregado.

O caroço de algodão, apesar de representar 2/3 do algodão, sempre foi considerado um produto secundário ou um subproduto, tradicionalmente destinado para a alimentação de gado, de pouca importância comercial, devido à presença do gossipol na sua constituição.

O gossipol é um pigmento peculiar da semente de algodão, e existe no algodoeiro como agente de defesa da planta e é conhecido por ser responsável pela sua toxicidade na alimentação animal, que normalmente restringe a animais ruminantes, que tendem a lidar melhor com os efeitos do gossipol do que os animais monogástricos, por isto é muito utilizado na alimentação de ruminantes.



A técnica mais amplamente utilizada para produzir o óleo e o farelo do caroço de algodão é a extração mecânica, por vezes seguida da extração com solvente. No entanto, os processos convencionais de extração (mecânica e/ou por solvente hexano) não conseguem remover o gossipol a níveis seguros para animais monogástricos. Novas alternativas de processos foram desenvolvidas, que conseguem remover o gossipol a níveis seguros, gerando novos produtos e agregando valor ao negócio do algodão, já que o potencial para expandir o uso de farelo de algodão como ingrediente alimentar para monogástricos é limitado pelo seu conteúdo de gossipol.



Um dos principais requisitos do sistema de extração de caroço de algodão é a produção de farelo com nível o mais baixo possível de gossipol e com alto valor nutricional (proteína de alta qualidade), bem como óleo de cor clara, com o máximo rendimento e a baixo custo, além das preocupações ambientais e de saúde ao utilizar solvente.

Vários novos processos, equipamentos e sistemas foram introduzidos nos últimos anos, trazendo a modernização e melhoria de várias operações, permitindo utilizar plenamente os vários componentes do algodão.

O farelo de caroço de algodão é um alimento proteico de excelente qualidade para produção de ração para qualquer tipo de animal, não fosse a presença do gossipol. A "galinha dos ovos de ouro" é reduzir o gossipol do farelo a níveis seguros, obtendo produtos industriais valiosos, que ainda está por ser devidamente explorado.

Os derivados de algodão são a terceira fonte proteica mais produzida no mundo, sendo bastante difundida pela sua composição nutricional e por conter proteína de boa qualidade, que é uma fonte atraente de proteína comestível.

Os métodos tradicionais para processar o caroço de algodão para produzir óleo e farelo são pouco eficientes, dispendiosos e com limitações de uso dos produtos e não aproveitam todo o potencial da matéria prima (proteínas), agregando pouco valor ao negócio do algodão. É o caso da torta proveniente da extração mecânica, cuja utilização é praticamente restrita à alimentação de bovinos e poderia ser utilizada para qualquer tipo de animal, inclusive peixes, suínos, aves, Pet e até humanos, se o teor de gossipol for reduzido a níveis seguros.

No Brasil, a formulação de rações tem como alimentos tradicionalmente utilizados o milho e o farelo de soja. Estes dois alimentos, dependendo do tipo de animal, chegam a representar 90% do total de ingredientes das rações, constituindo grande parte dos custos relativos à alimentação e, consequentemente, dos custos de produção. Assim, a busca por alimentos alternativos é de fundamental importância.



A palatabilidade tem sido uma das características de grande aceitação do farelo de algodão para todos os tipos de animais, ressaltam nutricionistas e pesquisadores, inclusive para peixes, destacando o salmão chinook (Oncorhynchus tsawytscha) que não aceita o farelo de soja em suas rações, o mesmo não ocorrendo para o farelo de algodão, cujo valor do farelo de algodão está no bom conteúdo proteico e bom perfil de aminoácidos, com baixos teores de fibra e de gossipol.

Pesquisas mostram que a substituição do farelo de soja pelo farelo do caroço de algodão pode ser utilizado em até cerca der 20% em rações (dependendo do teor de gossipol, e/ou tratamento com ferro), com base nos aminoácidos digestíveis, sem afetar o desempenho e o rendimento dos animais e o farelo de soja pode ser totalmente substituído pelo farelo de algodão com baixo conteúdo de gossipol. Porém, além do gossipol o elevado teor de fibra é um fator limitante quanto à utilização desse ingrediente nas rações de monogástricos.

A quantidade de fibra contida no farelo de algodão pode variar de acordo com a quantidade de casca presente. Assim, pode-se obter o farelo de algodão com baixos teores de fibra e altos teores de proteína quando houver separação das cascas durante seu processamento, sendo este farelo o recomendado para utilização na dieta de aves, suínos e peixes. Ou ainda, o farelo de algodão com altos teores de fibra e baixos teores de proteína, quando as cascas forem pouco separadas, ou propositalmente acrescentadas no final do processo, este é mais recomendado para uso na dieta de ruminantes.

Comercialmente são encontrados farelos com teores de proteína bruta (PB) que variam de 28 a 43%, sendo o percentual de PB definido pela inclusão de casca no farelo.

O conceito deste projeto é elevar o teor de proteína do farelo em até 50%, pois a fábrica disporá de instalações com flexibilidade para atender a qualquer solicitação comercial relativo ao processamento de caroço de algodão, ou seja, ela deverá ter um deslintamento e decorticação bem dimensionados, com todos os recursos para a



O conceito deste projeto é elevar o teor de proteína do farelo em até 50%, pois a fábrica disporá de instalações com flexibilidade para atender a qualquer solicitação comercial relativo ao processamento de caroço de algodão, ou seja, ela deverá ter um deslintamento e decorticação bem dimensionados, com todos os recursos para atender a qualquer tipo de qualidade de farelo do mercado, e ainda a opção de produzir novos produtos, com características que diferenciem dos produtos existentes e agreguem mais valor ao negócio.

Com base neste conceito é que foi corretamente dimensionado o deslintamento e a decorticação completa, com as melhores tecnologias do mercado mundial, preparado para atender a qualquer especificação de remoção de linter e casca (fibra), com alto nível de automação e baixo custo de produção.

Se o mercado pedir linter de alta qualidade, limpo, com alta celulose (74% ou mais), o processo terá condições de atender. Se o comercial vender "torta gorda" (por exemplo se no momento houver alta procura para confinamento), a fábrica parará o deslintamento e trabalhará apenas com o decorticador e prensa, sem extração. Se o mercado pedir para adicionar casca e somente casca, a fábrica para as desfibradeiras e retira a casquinha. Se desejar moer a palha, parará as desfibradeiras e ligará os moinhos e assim por diante. Quanto aos teores de linter, será controlado nas deslintadeiras conforme solicitação do comercial. Uma pequena variação nas capacidades dos equipamentos pode ocorrer em função de uma especificação muito apertada por exemplo das desfibradeiras, mas não é tão impactante, pois é função da opção operacional. Portanto, esta fábrica estará equipada para fazer o que for preciso.

No algodão uma boa fábrica NÃO deve ter equipamentos para um único produto. Esta versatilidade é encontrada nas fabricas americanas, que deve estar preparada para atender a toda exigência do comercial, apenas com algumas manobras dos equipamentos. Nós recomendamos este conceito, pois desta forma, com o circuito completo e bem dimensionado, assim o que o comercial pedir é só executar.



No contexto de nutrição animal, os pesquisadores e formuladores de ração têm buscado produtos que possam contribuir para redução dos custos com a alimentação, que pode representar até 70% dos custos de produção.

Ainda é prática comum o emprego da proteína bruta em formulações de rações. Esta é estimada pela presença do nitrogênio total no alimento, que envolve muitos grupos de substâncias semelhantes mas com funções diferentes. Entretanto, para balanceamentos de dietas mais eficientes, tem se levado em conta os coeficientes de digestibilidade da proteína e dos aminoácidos dos alimentos.

Assim surge o conceito de proteína ideal, que foi um importante avanço na pesquisa em nutrição animal, que é definido como o balanceamento de aminoácidos, sem excessos nem deficiências, preferencialmente obtidos de forma natural, sem a suplementação com aminoácidos industriais (sintéticos), principalmente a lisina e a metionina, possibilitando melhoria no desempenho produtivo e menor custo com a alimentação, para atender às exigências de mercados diferenciados. A formulação de rações, aplicando o conceito de proteína ideal, fica simplificada. Rações bem balanceadas minimizam os teores de proteína das dietas, a fim de produzir o mínimo de resíduos provenientes do desperdício de ração e da excreção elevada de nutrientes.

A proteína ideal é um balanço adequado de aminoácidos cuja composição atende às exigências dos animais, onde todos os aminoácidos essenciais são expressos em taxas ideais ou em porcentagem em relação a um aminoácido de referência. O aminoácido utilizado como referência é a lisina, que é o primeiro aminoácido limitante em dietas de suínos e segundo em dietas para aves, e isso, além de reduzir os custos da alimentação contribui para a redução na excreção de N ao meio ambiente.

Dietas formuladas no conceito de proteína ideal têm se tornado uma prática cada vez mais comum, com bons resultados de desempenho e rendimento. A formulação das dietas com uso deste conceito tende a crescer e substituir o uso da formulação com base na quantidade de proteína bruta, devido ao fato da melhoria da relação custo-benefício em relação às exigências nutricionais e menos poluição ambiental.



O grande desafio nas formulações de ração compreende o uso de rações completas, de alta densidade nutricional e com ingredientes de alta digestibilidade e palatabilidade, da qual este requisito no farelo de algodão tem sido amplamente ressaltado por vários pesquisadores e formuladores de ração.

Nos processos convencionais de extração de caroço de algodão para obtenção de farelo "desengordurado", existe uma correlação negativa entre o conteúdo de gossipol livre e lisina do farelo. Os aminoácidos essenciais são expressos em relação à lisina, usado como aminoácido referência, sendo normalmente o primeiro aminoácido limitante.

Na análise da tabela abaixo, a proteína muito alta de 50% e muito baixo teor de fibra 6% resulta em produto com excelentes características para alimentação de crescimento para suínos, peixes, PET, etc..

Forma em pó granular torna-se muito mais palatável quando misturado com outros materiais.

Bom perfil de aminoácidos, muito rico em lisina, arginina, metionina e cistina, que garantem uma suplementação adicional significativamente reduzida na formulação de rações.

A palatabilidade da farinha de semente de algodão é apreciável em comparação com outros ingredientes.

Baixos teores de Gossipol resultam em redução de adição de sais de ferro que perturbam o equilíbrio imunológico e suporte ao crescimento de micróbios nocivos.

O processamento por prensagem envolve maior aquecimento, o qual reduz o conteúdo de gossipol livre, porém também destrói a lisina, que é o principal aminoácido, seguido da metionina, cistina e arginina. A técnica de pré-prensagem e extração com solvente o conteúdo de gossipol livre, mas perde uma quantidade muito grande de aminoácidos, especialmente a lisina.



# COMPARAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE FARELOS DE SOJA E ALGODÃO

	TORTA	FAR. SOJA	FAR. ALGODÃO	FAR. ALGODÃO
Protein (%)	37	46%	50 MIN	55 MAX
Moisture (%)	10	9 Max	10 MAX	8 MAX
Oil (%)	7	1.5 Max	1.2 Max	0.9 MAX
Crude Fibre (%)	12	6 Max	6 Max	4 MAX
Free Gossypol (%)	1200 ppm	0	400 MAX	300 MAX
Sand & Silica (%)	2	1.0 Max	1 Max	0.5 MAX
Lysine (%)	1.22	2.69	2.35	2.35
Methionine + Cystine (%)	0.5	0.98	1.49	1.49
Arginine (%)	2.8	2.82	5.87	5.87
Total Amino Acid (%)	32	40.94	49.26	49.26
Ratio of Amino Acid in Crude Protein (%)	65	91.6	95.6	95.6
Metabolic Energy of Chicken (Cal/g)	NA	2390	2420	2420
COLOUR VARIATION	DARK BROWN	YELLOWISH	GOLDEN YELLOW	

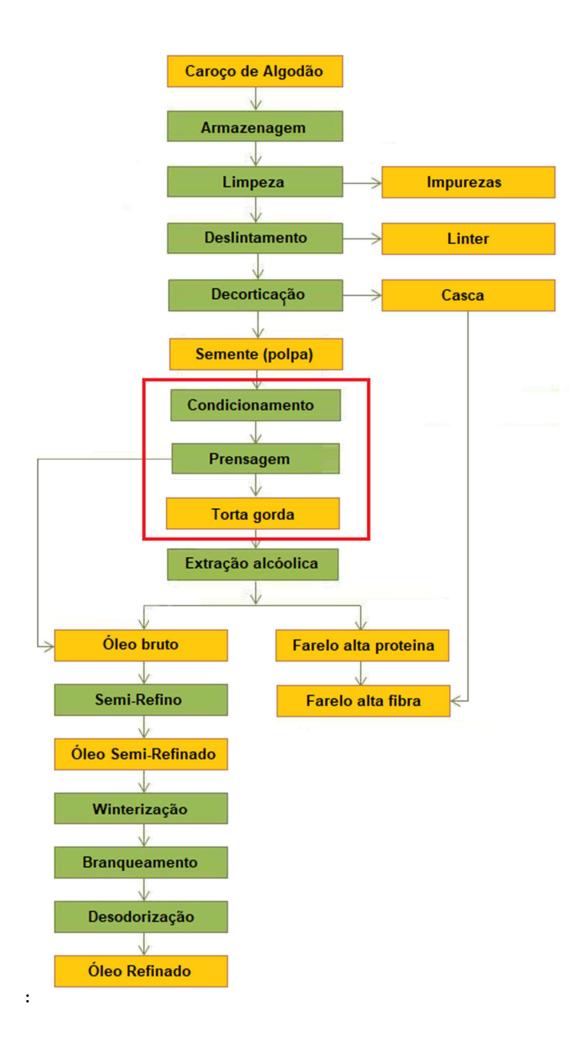


Durante a pré-prensagem para obtenção da torta, que obrigatoriamente ocorre em condições de alto aquecimento, o gossipol por meio da reação de Maillard liga-se à lisina, formando o complexo lisinacarboidrato, reduzindo desta forma o valor nutricional da proteína. Este complexo gossipol/lisina é chamado de "gossipol ligado".

O valor nutricional do farelo de algodão depende basicamente do método de extração e da proporção de casca (fibras). O teor de proteínas de derivados de caroço de algodão varia de cerca de 22% do caroço bruto, até 55% no farelo super hipro (tabela acima).

# TECNOLOGIAS DE PROCESSAMENTO DE CAROÇO DE ALGODÃO:

**FLUXOGRAMA DO PROCESSO** 





# **DESCRIÇAO DO PROCESSO:**

# PROCESSO DE SEPARAÇÃO DO CAROÇO DA PLUMA (ALGODOEIRA):

Normalmente a secagem do algodão ocorre ainda no campo, onde é colhido com umidade entre 8 e 12%, seguindo para a algodoeira, para a separação da fibra do algodão do caroço. O conteúdo de linter (fibras custas) no caroço branco é de 9 a 12% de linter, que é a matéria prima deste projeto.

O primeiro o cuidado que se deve ter na algodoeira é de não misturar as impurezas que naturalmente são removidas no processo de separação da pluma do caroço, pois muitas algodoeiras reincorporam as impurezas removidas ao caroço, para aumentar o rendimento, sem se importar com as consequências subsequentes para quem vai processar o caroço. O caroço segue da algodoeira para o armazém em transportadores próprios para esta matéria prima.





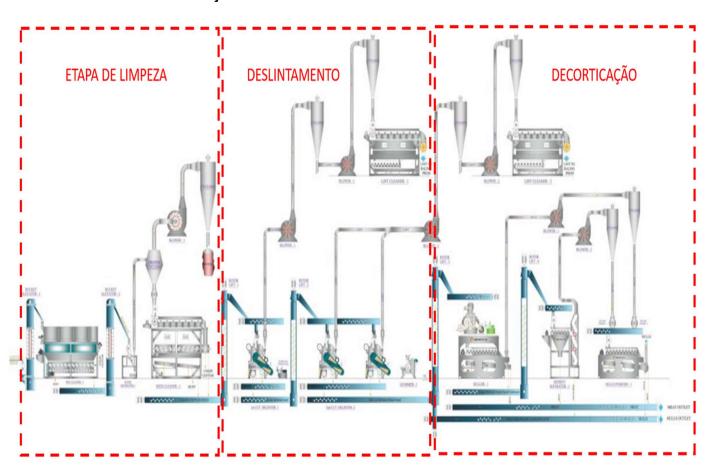


#### ARMAZENAMENTO DO CAROÇO:

As condições de umidade e armazenamento do caroço refletem diretamente no rendimento e na qualidade do óleo.

Se porventura o caroço de algodão for armazenado úmido, pode ocorrer auto aquecimento, acarretando na sua deterioração, levando até mesmo à carbonização e podendo provocar incêndio. Portanto, o caroço deve ser armazenado seco e sob controle de temperatura.

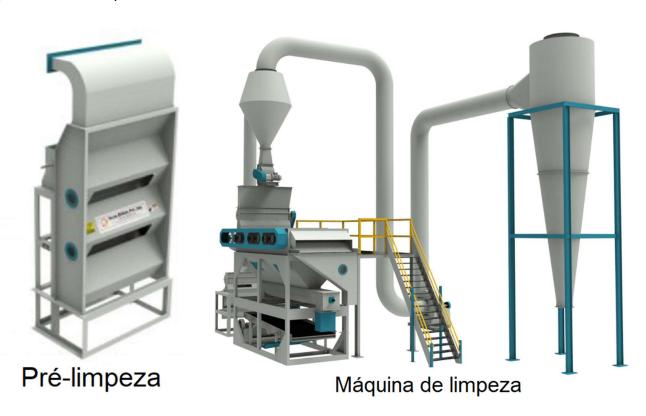
# PROCESSO DE DECORTICAÇÃO E DESLINTAMENTO:





#### PROCESSO DE LIMPEZA DO CAROÇO BRANCO:

Nesta seção usa-se separador magnético, peneiras vibratórias, exaustores/ventiladores, ciclones, para remover as impurezas orgânicas (caules, folhas, casca, etc.), impurezas inorgânicas (poeira, areia, pedras e metais), insetos e outras, para remoção de materiais que possam contaminar os produtos, além de danificar os equipamentos e dificultando o esmagamento. O caroço após a sessão de limpeza deve conter no máximo 0,1% de teor de impurezas.



13

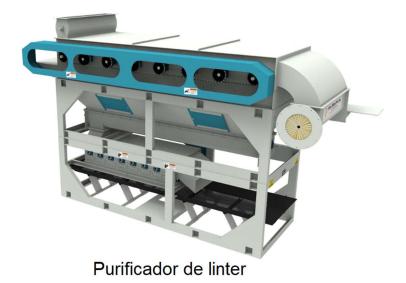


#### **DESLINTAMENTO (REMOÇÃO DO LINTER):**

Para a separação do linter são feitas em máquinas deslintadeiras, que é composta por bicas que dosam a quantidade de caroço em pequenas porções (por isto são máquinas de baixa capacidade), passando por rolos de serra com pentes com múltiplas lâminas dentadas, distanciadas de forma a permitir somente a passagem da semente, separando o linter do caroço.

O deslintamento pode ser feito em duas etapas ("dois cortes") produzindo o linter de primeiro corte (mais nobre) e o de segundo corte (fibra curta). No entanto, a evolução do desempenho destas máquinas permitiu fazer esta operação em corte único, principalmente quando o objetivo é a remoção total da casca, onde esta pequena fração de linter será removida junto com a casca.

As deslintadeiras não são máquinas projetadas para grandes capacidades de processamento, e são ajustadas pela entrada de semente, dependendo da quantidade de linter residual desejado no caroço, que pode variar de 3 a 6% de linter. Normalmente o ponto de equilíbrio para "corte único", o linter residual fica em 4-5%.



O linter removido pelas deslintadeiras contém impurezas (casca, pó), onde é necessário passar por um processo de limpeza das fibras, produzindo um linter limpo de alta qualidade, com celulose alta (74% ou mais). Após o processo de limpeza, as fibras são enviadas à unidade de prensagem de fardos, onde o linter é pressionado hidraulicamente, formando um fardo tamanho padrão.





O Linter obtido por este processo está tendo diversos usos que adicionam o valor para a semente. Os principais usos podem ser resumidos como abaixo:

- Polpa de fibra para papéis de alta qualidade;
- Algodões absorventes;
- Acetato de celulose para fabricação de plásticos, filmes e fios;
- Ésteres de celulose para produtos farmacêuticos, cosméticos, pasta de dente, lacas, etc.;
- Nitrato de celulose para dinamite, propulsores de foguete sólidos, etc.;
- Feltros para estofados automotivos, almofadas, colchões, etc.;
- Fios para barbante, tapetes, pavios, etc.



## **DECORTICAÇÃO (REMOÇÃO DA CASCA):**

Após a operação de remoção do linter, o caroço segue para o processo de decorticação (descasque), em decorticadeiras de alta capacidade, que tem por finalidade quebrar o grão para separar a polpa da casca, sem, contudo, sofrer qualquer tipo de compressão, para que a polpa não fique aderida à casca. Para isso, a máquina decorticadora deve ser ajustada com a dimensão do caroço. Os decorticadores dispõem de facas giratórias (batedores) que quebram a casca, liberando a polpa. Para que isso ocorra sem problemas o caroço deve estar com umidade baixa, pois caso o teor de umidade esteja alto, não ocorrerá à quebra da casca, o que poderá danificar o processo, ocorrendo o entupimento da máquina e perda de polpa (e óleo) na casca.



Após a quebra do caroço, o material composto por sementes sem casca, cascas soltas e caroço sem quebrar passa por peneiras vibratórias onde serão separadas. A semente sem casca, por ser mais pesada, passa pelos orifícios da peneira, o caroço sem quebrar, retorna para os batedores e a casca, por ser mais leve, é aspirada e vai para um separador, pois pode ainda apresentar um residual de polpa preso à casca.





As cascas aspiradas pneumaticamente do decorticador e do separador de densimétrico que que ainda contêm algum % de polpa passa por um purificador, que faz a separação final da casca da polpa, garantindo uma perda de óleo na casca é inferior a 1% e a fibra livre (casca) remanescente no fluxo de semente descascada menor que 2%, garantindo um produto base (torta ou farelo) de alta proteína e com uma diversidade de opções de produtos compondo com a casca (fibra), de acordocom a solicitação do mercado.



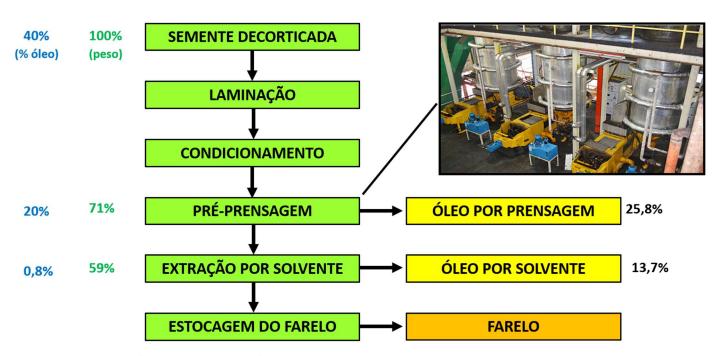


A casca removida na decorticação é um subproduto importante da indústria de algodão, que contêm 4-5% de proteína bruta e é convencionalmente usada como ração para ruminantes, mas pode ser utilizada ainda moída/dosada para mercados de farelos de proteínas menores, como cama para criação comercial de aves, substrato para produção de cogumelo, etc.



# PROCESSO DE EXTRAÇÃO MISTO (MECÂNICA SEGUIDA DE SOLVENTE):

# PRÉ-PRENSAGEM E EXTRAÇÃO



O percentual de óleo na torta de pré-prensagem fica em aproximadamente 25,8% da semente decorticada, enquanto o óleo de extração em torno de 13,7% da semente (após ajustes de umidade durante o processo).

#### **EXTRAÇÃO MECÂNICA:**

#### PREPARAÇÃO:

O processo de Preparação da matéria prima antes da extração influencia diretamente a qualidade dos produtos (óleo e farelo) e no desempenho do processo em todas as fases e principalmente influência nos custos de produção. Por isto, a tecnologia adotada é muito importante, mas também os recursos disponíveis, para as adversidades que podem ocorrer, em função de safra, qualidade de matéria prima e outros.



É importante entender o significado da Preparação na extração, em que o óleo é uma fonte de energia da planta e por isto está bem protegida, armazenada dentro do grão, envolvida por membranas celulares. Se colocarmos uma semente oleaginosa inteira em contato com um solvente sem qualquer preparação, resultaria em um rendimento muito pequeno de óleo, devido à dificuldade do solvente em acessar esse óleo. A Preparação vai criar as condições para que o óleo seja removido do grão onde ele será reduzido a pequenas frações e condicionada (cozida) deixando o material em um estado em que seja o mais fácil separar o óleo dos sólidos, a fim de maximizar a eficiência do método de extração utilizado.

Depois da Preparação do caroço de algodão, o óleo pode ser obtido de duas formas, por prensagem mecânica e por extração por solvente. O método mais utilizado é o processo misto que consiste na prensagem mecânica, produzindo a torta gorda, seguida da extração por solvente, obtendo assim um maior rendimento de óleo, que foi o conceito adotado para este projeto, pois as sementes deslintadas e decorticadas têm alto conteúdo de óleo na semente, requerendo a pré-prensagem (~ 50% teor de óleo na torta), para reduzir o tamanho do extrator.

Em geral, um sistema de pré-prensagem seguido de extração por solvente é uma opção viável quando a semente oleaginosa contém mais de cerca de 25% de óleo. Este processo misto combina o melhor de cada sistema: a operação de prensagem remove as porcentagens mais altas de óleo, que são de longe as mais fáceis de extrair dos sólidos, e o processo de extração por solvente remove a fração de óleo mais difícil de extrair, em média partindo de 20% de óleo e reduzindo para cerca de 1% de óleo residual no farelo (com etanol o residual fica em torno de 2%).

A extração do óleo de caroço de algodão com baixo conteúdo de gossipol livre é um conceito diferente do processo de extração convencional, requerendo cuidados especiais, para preservar a integridade das proteínas, garantindo a alta digestibilidade do produto, e promovendo a inativação dos fatores antinutricionais e evitando ao máximo a "fixação" do gossipol, para garantir a integridade das proteínas e manter as suas propriedades funcionais.

No projeto de extração de óleo por extração mecânica (extrusão), a semente limpa passa pelos moinhos laminadores, aumentando assim a área da massa, para facilitar o cozimento da polpa, melhorando durante o cozimento, a permeabilidade no interior das partículas e a percolabilidade da água entre os flocos.



A semente laminada segue para a etapa de condicionamento, em que o condicionador foi especialmente concebido para semente de algodão, que conta com recursos que permitem um perfeito condicionamento da massa, que garantem as condições requeridas para alta eficiência na extração do óleo e do gossipol.





O termo "condicionamento" significa aquecer o material laminado em espessura fina, com grande área de superfície e mantê-lo por tempo e temperatura adequados para "cozinhar" e romper as células com óleo.





A prensagem é feita em extrusoras de rosca sem-fim, com passo e diâmetro variável, que transporta a massa para dentro de um compartimento denominado cesto de compressão, onde a massa é comprimida, obrigando o óleo a fluir (devido à pressão / temperatura que atinge) pelas barras laterais com aberturas, por onde flui o óleo, e no final da rosca sai a torta quente, que é resfriada para as condições da extração. Na extremidade de descarga da extrusora é formado um "tampão comprimido", chamado de torta gorda, que é resfriado para a temperatura requerida na extração por solvente.

O óleo extraído arrasta partículas sólidas finas que são separadas em um "borreiro" (decantador) e/ou uma decanter para separação dos finos. O material sólido separado é agregado à torta e o óleo é então enviado para o tanque de estocagem para posterior refinamento.

Cerca de metade do óleo da semente de algodão decorticada que entra no processo é extraída pela prensagem mecânica, restando 18-20 % de óleo residual na torta. Como o processo consome uma potência considerável, que promove desgaste e manutenção consideráveis, este é um ponto de equilíbrio de residual de óleo, que será completado na extração por solvente. Em comparação, a extração com solvente removerá todo o óleo restante (exceto cerca de 1% do óleo residual), usando menos potência e requer menos



manutenção.

O menor teor de óleo remanescente possível de atingir com o sistema de prensagem mecânica é de cerca de 3%, em relação ao peso da torta, mas no processo misto não é necessário chegar a residuais tão baixos, estabelecendo um ponto de equilíbrio, devido ao alto consumo de energia e perda de rendimento da prensa.



#### PREPARAÇÃO COM EXPANDER:

A diferença entre o sistema de pré-prensagem e expander é que no caso da pré-prensagem a matéria prima é submetida a altas pressões e altas temperaturas por um tempo prolongado, trazendo perdas nutricionais muito grandes no farelo, principalmente em relação à lisina-gossipol (gossipol ligado) e já na expander, a exposição a altas temperaturas é de poucos segundos, gerando perdas de proteínas muito pequenas. No entanto, no caso da expander, a massa aumenta a área de contato e facilita a percolação do solvente, aumentando a capacidade e eficiência de extração.



O tratamento de expansão ou condicionamento de alta pressão são termos comumente usados para descrever tratamentos onde a matéria-prima é submetida a altas temperaturas por um curto período de tempo. Um fator importante deste equipamento é que permite submeter uma quantidade relativamente grande de matéria prima a uma temperatura alta, por um tempo muito curto a um custo relativamente baixo, sem prejudicar a qualidade nutricional do produto.

O tratamento térmico excessivo pode reduzir a disponibilidade de certos nutrientes.

Por exemplo, como foi falado anteriormente, a lisina é suscetível ao tratamento térmico através da reação com açúcares redutores e a formação de produtos Maillard e reação com o gossipol, que é minimizado no processo e expansão.

O pré-condicionamento proporcionado pela expander aumenta muito a eficiência da extração, a percolação do solvente e a retenção do solvente na massa, proporcionando menores perdas de solvente e menores custos de produção,



O princípio da expander é o mesmo da prensa extrusora, criando um alto cisalhamento material a alta pressão, porém menor que da extrusora, que é auxiliado pela adição de vapor direto na massa, que não ocorre com a extrusora.

Depois do material ser submetido a elevada pressão e temperatura por poucos segundos, instantaneamente o material sai da máquina, e a pressão cai imediatamente para a pressão ambiente, ocorrendo a evaporação espontânea da água, expandindo o material, e rompendo as células que contem óleo. O material expande e a temperatura cai rapidamente (analogia ao processo HTST de pasteurização de leite).



Massa laminada e expandida (ilustrativo)

Existem vários tipos de expansores, que é projetado conforme as características do material (teor de óleo, fibras, umidade, etc), e condições desejadas (temperatura, pressão, tempo de retenção) e outros.

Quando a massa passa pela expander, a temperatura pode subir para mais de 150 °, mas o normal é uma faixa típica está entre 90 e 130 ° C, por apenas alguns segundos (5 a 15 segundos).

O desgaste da expander em relação à extrusora é mínimo, pois o óleo, a água e o vapor atuam como lubrificantes e, assim, reduzem o desgaste da máquina. Comparado a uma extrusora, a simplicidade da expander permite um tratamento eficaz da massa, a um baixo custo.



O material expandido tem uma estrutura densa, porém muito porosa, permitindo ao solvente um acesso mais fácil ao óleo, resultando em aumentos de até 50% na capacidade do extrator, redução de 40% na retenção de solvente no farelo, redução de 20% de solvente na miscela e uma redução geral nas perdas de solvente. A expander também reduz o consumo geral de energia da planta, reduzindo assim seus custos operacionais e aumentando sua capacidade.

Principais benefícios do material expandido versus flocos:

- Aumento de até 50% na capacidade do extrator;
- Níveis residuais de óleo mais baixos;
- Menores potencias instaladas e menor consumo de energia elétrica;
- Maior eficiência de percolação do solvente;
- Menor razão solvente / material a extrair;
- Maior concentração da miscela;
- Preserva melhor qualidade das proteínas;
- Maiores conteúdos de aminoácidos essenciais;
- Menor consumo de vapor;
- Menor perda de solvente;
- Redução no teor de fosfolipídios não hidratáveis;
- Reduzida formação de gossipol ligado.

A única desvantagem da expander em relação à pré-prensagem para caroço de algodão de baixa fibra é que toda extração do óleo deverá ser feita na extração por solvente, aumentando o tamanho do extrator e da destilaria. No entanto, os benefícios superam muito esta desvantagem, inclusive em custo, o que tem feito os processadores americanos migrarem para o uso de expander.

## **EXTRAÇÃO POR SOLVENTE COM HEXANO OU ETANOL?**

A questão de qual solvente utilizar no processo de extração do óleo tem que ser bem analisada, colocando as vantagens e desvantagens de cada solvente, para a decisão pela melhor alternativa para o cliente, em termos de produtos, mercado, capex, etc.

Há muitos mitos antigos envolvendo este assunto, mas à luz dos novos avanços tecnológicos, mercados e tendências, mudanças de hábitos dos consumidores, concorrência e retorno do investimento, a decisão fica mais fácil de tomar.

Mostraremos a seguir informações do ponto de vista técnico a comparação entre a utilização de hexano ou etanol na extração de óleo de caroço de algodão e obtenção de farelo.

Sem dúvida que o hexano se tornou o solvente mais utilizado para extração de óleos vegetais devido principalmente por ser o solvente que melhor se apresenta em termos de relação custo/benefício, principalmente devido à sua alta eficiência na extração de óleo (facilidade de solubilizar o óleo), proporcionando um alto rendimento de óleo (baixo residual de óleo no farelo), com uma volatilidade bastante alta e um baixo calor sensível, ou seja, apresenta um baixo consumo de energia.

Estes são os pontos mais relevantes do hexano, no entanto, apresenta algumas desvantagens, como alta inflamabilidade e explosividade, tem custo elevado e por ser um solvente derivado de petróleo e ter benzeno e outros compostos aromáticos indesejáveis na sua composição. Estes compostos ficam retido no farelo, provocando o acúmulo gradativo no organismo dos animais, e pode ser carcinogênico, é uma preocupação quanto a sua toxicidade, que tem cada vez mais restringido alguns mercados.

No caso específico do algodão, uma desvantagem do hexano, por ser um solvente apolar, não solubiliza (não remove) o gossipol, porém parte deste é solubilizado pelo próprio óleo, mas não o suficiente para baixar os níveis até valores não tóxicos para monogástricos. No entanto, o gossipol livre do caroço de algodão é extraído pelo etanol, pois é um solvente polar, capaz de dissolver o gossipol, produzindo uma farinha comercial com baixo conteúdo de gossipol.

As vantagens no uso do álcool etílico são:

- Solubiliza o gossipol, extraindo-o quase totalmente;
- É um produto biodegradável;
- É miscível em água;
- Extrai carboidratos solúveis (açúcares);
- Atende aos crescentes requisitos de produto ambientalmente correto; ESG



- Não é toxico e não carcinogênico;
- É muito mais seguro e menos inflamável e explosivo que o hexano;
- É um produto de baixo custo e é encontrado em qualquer região do Brasil;
- Em condições e concentração adequadas dissolve o óleo e, portanto, é propicio para extração;
- A extração com etanol já é uma tecnologia dominada.
- É um solvente polar e, portanto, solubiliza boa parte dos açúcares presentes no caroço de algodão,
  aumentando o conteúdo de proteína do farelo;

As desvantagens no uso do etanol em relação ao hexano são:

- A perda de etanol no processo de extração é em torno de 2,5 litros/ton de semente processada,
  enquanto a perda de hexano é ao redor de 1%, porém o preço do etanol é menos da metade do hexano.
- O calor latente de vaporização é 2,5 vezes maior que a do hexano (maior consumo energético);
- O óleo residual no farelo para o etanol é em torno de 2%, enquanto o residual com o hexano é em torno de 1%.

Os álcoois constituem a uma classe de solventes alternativos para a extração de óleo. O processo utilizando álcoois como solvente foi desenvolvido baseado no estudo da cinética de extração e o conhecimento dos efeitos das variáveis do processo, tais como, preparação da matéria prima, solubilidade do óleo em etanol a diferentes temperaturas, razão entre sólido/solvente, razão tempo/temperatura de extração, propriedades físico-químicas do etanol, teor de água no solvente, velocidade de extração dos compostos de interesse, etc. Álcoois isentos de água, tais como o etanol e o isopropanol (e outros), são bons solventes para óleos à alta temperatura, no entanto, a solubilidade dos óleos nesses solventes diminui drasticamente à medida que a temperatura é reduzida, constituindo-se assim no princípio no qual são baseados os processos de extração por álcoois.O fato de usar o álcool etílico alimentício como solvente na extração de óleos tem como grande diferencial por ser um produto barato, fácil de encontrar em qualquer região e ecologicamente correto, ganhando assim, grande aceitação no mercado e principalmente pelo fato do etanol ter grande afinidade para extrair o gossipol a níveis seguros. Além disto, o álcool etílico extrai o óleo quando na forma anidra e ainda remove parte dos carboidratos solúveis (açúcares), aumentando o teor de proteína do farelo e inativa ou reduz a aflatoxina e ciclopropenoides, que são considerados fatores anti-nutricionais. Outro ponto importante no processo é a questão de segurança, pois o risco de trabalhar com o álcool etílico é extremamente menor que com o hexano.



## PROCESSO DE EXTRAÇÃO POR SOLVENTE:



Considerando que o objetivo deste projeto é o processamento de caroço de algodão para extração do óleo e a produção de farelo com reduzido teor de gossipol livre, o solvente que atende a este requisito obrigatoriamente é o etanol.

Para resumir, a extração por solvente depende de cinco fatores básicos:

PREPARAÇÃO: Material preparado corretamente, com alta área superficial e boa porosidade.

SOLVENTE: Solvente de boa qualidade, com vazão suficiente e com número suficiente de estágios de acordo com as características do solvente.

CONTATO: Boa percolação e drenagem eficaz.TEMPERATURA: Quente o suficiente para manter a extração rápida no tempo disponível.

TEMPO: Dependendo da profundidade do leito, espessura de massa e outras variáveis, para permitir que os processos de dissolução e fluxo ocorram.

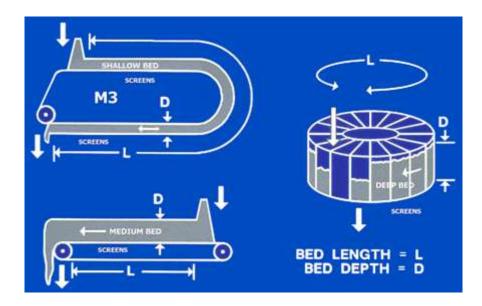


As etapas da extração são simplificadamente:

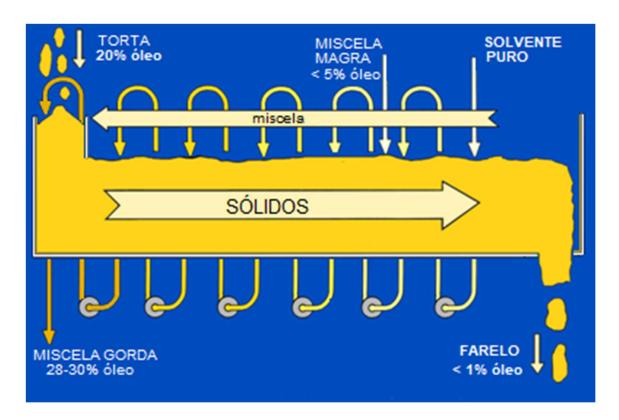
- Extração por solvente propriamente dita;
- Desolventização e tostagem do farelo;
- Separação do óleo do solvente;
- Recuperação do solvente.

#### **EXTRATOR:**

Partindo que a torta que alimenta a extração têm alta porosidade, para permitir uma rápida penetração e boa percolação (passagem rápida do fluxo de solvente através do leito e da tela) pelo solvente para acessar as células oleosas e assim possa alcançar o óleo, o extrator é o equipamento principal, que exige uma atenção especial.



O tipo de extrator a ser usado é o de percolação, que pode ser de diversos formatos: LM horizontal ou de esteira (De Smet), Rotativo tipo carrossel de fundo móvel (Tecnal, Masiero, etc) ou fundo fixo French (De Smet, Tecnal, etc) ou ferradura (Crown Iron), que tem em comum o fato de serem em contracorrente.



O extrator de percolação é o mais comumente usado para extração de óleo de oleaginosas. O solvente/miscela passa em contracorrente através da massa e da tela que suporta o material, dissolvendo o óleo no solvente e levado para as tremonhas, que ficam logo abaixo da tela. Uma bomba capta a miscela e bombeia para o próximo estágio e assim por diante, até encontrar com o material entrando no extrator, onde a miscela atinge a concentração máxima de óleo (em torno de 30%) e a massa, com praticamente todo o óleo removido, após drenada, é descarregada no lado oposto, para a etapa de desolventização.





Um extrator bem dimensionado representa menor proporção de solvente e menos solvente na miscela e consequentemente menores custos na separação do óleo e na destilação do solvente. Extratores eficientes mantêm a miscela nos estágios posteriores com o menor teor de óleo possível, para que a miscela retida na massa que vai para o DT contenha muito pouco óleo.

Partindo do princípio que a laminação, o condicionamento e a pré-prensagem foi corretamente executada e a torta produzida dentro das condições adequadas (umidade densidade e temperatura), foram determinados para este projeto uma proporção de solvente alta o suficiente (proporção de sólidos/solvente que entra no extrator), em número determinado de estágios efetivos de lavagem, com concentração de óleo decrescente até a lavagem final (solvente puro).

Para o dimensionamento do extrator foi considerado uma espessura de massa (altura de massa sobre a tela), onde o peso do material sobre a tela foi calculado de forma a evitar de compactar o material e dificultar a percolação do solvente, e também foi levado em conta as características do solvente escolhido (etanol), que tem densidade maior que do hexano, determinando o tempo em cada estágio, para que ocorram que os processos de dissolução e percolação (lavagem e drenagem final), de acordo com os parâmetros estabelecidos.

A torta recém produzida deve entrar no extrator com temperatura suficientemente alta para permitir que todo o extrator opere no ponto de ebulição do solvente ou próximo a ele. Operar na temperatura mais alta possível diminui a viscosidade do solvente e do óleo, permitindo uma rápida dissolução, e consequentemente, uma extração mais rápida e com melhor eficiência.

A temperatura é um tópico um pouco mais complexo do que a maioria das pessoas imagina. Se o material for introduzido no extrator muito quente, isso causará muita ebulição do solvente e reduzirá a drenagem da miscela e reduzirá a eficiência da extração, além de pressurizar a instalação, perder solvente para o ambiente e questões de segurança. Por outro lado, cada ponto de temperatura abaixo da ebulição do solvente reduzirá significativamente a capacidade de extração do óleo. O extrator deve ser projetado para operar próximo à pressão ambiente (com vácuo muito leve), e a temperatura do solvente no interior do extrator deve estar próximo do ponto de ebulição do solvente.



Duas correntes saem do extrator: a fração líquida, rica em óleo, chamada de "micela gorda" e a fração sólida, pobre em óleo, que é o farelo, carregado com solvente. As próximas operações têm o objetivo de remover e recuperar o solvente de cada uma das duas frações.

A saturação do etanol com óleo ocorre quando a miscela contém em torno de 28-30% de óleo (miscela gorda) e 70-72% de solvente. Assim, para cada tonelada de óleo bruto, cerca de 2,5 toneladas de solvente devem ser recuperadas e retornar ao processo. Como o princípio na qual o processo de separação de óleo do etanol é baseado na diferença de solubilidade do óleo neste solvente, que diminui drasticamente à medida que a temperatura é reduzida.

A micela gorda é resfriada em um regenerador de calor com a "miscela magra" fria, que por diferença de solubilidade em função da temperatura o óleo se separa como uma fase distinta, que pode ser recuperada por centrifugação ou decantação (miscela concentrada). Da mesma maneira, a miscela magra é aquecida com a "miscela gorda" quente e enviada de volta ao extrator.

As características de um bom sistema de destilação de micelas são: boa economia de energia, dano mínimo de calor ao óleo e seus componentes, perdas mínimas de solvente, remoção eficiente dos últimos vestígios de solvente do óleo e, é claro, boa segurança de operação.

No processo convencional de extração por solvente, a miscela gorda contendo gossipol e outros contaminantes, é destilada para recuperação do solvente e para tal, é submetida a temperaturas elevadas (inevitável), que "fixam" o gossipol, tornando o óleo extremamente difícil de refinar e com elevadas perdas de processo e altos custos.

Uma maneira particularmente eficaz de fazer a separação do gossipol antes de submeter o óleo a altas temperaturas na destilaria para a recuperação do solvente, é remover (neutralizar) o gossipol do óleo ainda na extração, enquanto ele está presente na fase miscela. Este processo será abordado mais adiante.

Já se o óleo extraído for mal armazenado, também pode ocorrer o escurecimento do óleo, tornando-o extremamente difícil a sua refinação, provocando a perda de qualidade e modificações organolépticas no óleo, por efeito da ocorrência de polimerização, desclassificando a sua aplicação para fins alimentícios.



# DESSOLVENTIZAÇÃO, SECAGEM E RESFRIAMENTO DE FARELO:

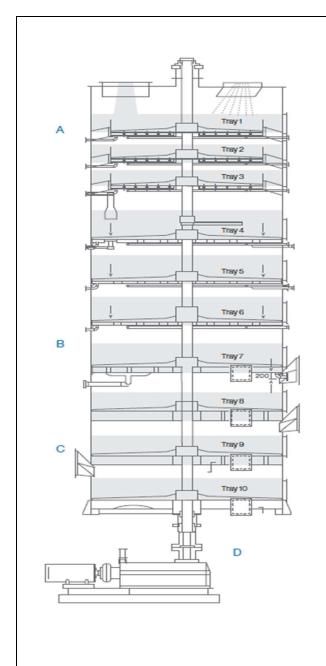
Um dos fatores mais importantes e uma das operações mais críticas em uma planta eficiente de extração por solvente é remover o solvente que acompanha o farelo na saída do extrator, uma vez que determina, o consumo de vapor, eletricidade, solvente e representa uma grande parte dos custos, como também em grande parte, na qualidade do farelo acabado, pois influencia diretamente no teor residual de solvente, na umidade do farelo e na solubilidade da proteína. O farelo na saída do extrator carrega consigo cerca de 30-35% de solvente.

A remoção do solvente do farelo é realizada em equipamentos denominados (**DT**) **D**essolventizador/**T**ostador, seguido do (**DC**) **S**ecador/**R**esfriador, que são operações que podem ser feitas de forma independente ou integradas (DTDC). Existem vários projetos e conceitos diferentes de Dessolventizadores Tostadores e Secadores Resfriadores e diversos fabricantes nacionais e estrangeiros.

O dessolventizador geralmente possui o maior consumo isolado de vapor e o maior efeito na perda de solvente de toda a planta, além de possuir o maior motor e acionamento. É interessante saber que o processo de Preparação da matéria prima antes da extração influencia diretamente no processo de desolventização. O dessolventizador é o último processo importante na sequência de preparação e extração e acaba sendo responsável por "consertar" todos os erros cometidos em outras partes da planta e às vezes, é culpado por problemas em outros lugares do sistema.

No DTDC o DC é construído no mesmo corpo do DT, e por isto é menos dispendioso, mais compacto e eficiente, pois a usa metade do espaço, tem apenas uma fundação principal, gasta menos vapor, resfria o farelo melhor e geralmente emite menos poeira, além de não ter grandes mancais e selos de grande diâmetro que geram manutenção.

A construção de um DC é muito semelhante a construção de um DT. Possui um corpo cilíndrico vertical com pratos em vários níveis e um eixo central. Ele tem facões e transfere o farelo até o prato inferior através de uma válvula rotativa ou comporta, conforme o processo requerer.



O DTDC é um dessolventizador tostador (DT) em contracorrente, integrado com o secador resfriador (DC), robusto em design, em um único equipamento.

O DTDC conta com um estágio de pré-dessolventização, que é projetado para excelente transferência de energia (vapor de aquecimento indireto), reduzindo o vapor necessário para dessolventizar e secar o farelo, reduzindo o conteúdo de solvente para 200 ppm ou até menos.

#### CARACTERÍSTICAS:

A: estágio de pré-dessolventização, capaz de reduzir o conteúdo de solvente no farelo de 30 - 35% para 28% com vapor indireto, proporcionando uma economia de vapor de até 20% quando comparado com o sistema DT convencional, reduzindo também a injeção de vapor direto no estágio de tostagem.

B: Etapa de dessolventização e tostagem propriamente, com a remoção eficaz do solvente no farelo com vapor direto.

C Etapa de secagem e resfriamento, onde uma corrente de ar de alta velocidade remove o excesso de umidade e resfria o farelo.

Para um menor consumo de vapor no DT, faz-se uma pré-dessolventização, que melhora sensivelmente a dessolventização. Essa redução é bastante expressiva no consumo total da instalação quando comparado com os valores de uma planta com um dessolventizador convencional sem pré -dessolventização. Consequentemente, a qualidade do farelo é mais fácil de ser controlada, principalmente a solubilidade da proteína, mantendo a porcentagem máxima de proteínas solúveis em água.

Dois métodos de aquecimento são usados no DT: aquecimento indireto a vapor, onde os "pratos" são equipados com fundo duplo, atuando como "camisa de vapor" (sem contato direto do vapor com a massa) e o aquecimento direto, o vapor vivo é injetado diretamente na massa.



Em cada compartimento, facões misturadores rotativos de alta performance espalham o material e fornecem a ação de mistura necessária. O vapor direto é injetado na massa nos estágios de prédessolventização, passando pela massa piso a piso, que são especialmente perfurados para essa finalidade, através de furos meticulosamente dimensionados, e, desta maneira, a fluidez do material se torna mais expressiva, resultando em uma dessolventização eficiente com uma baixa necessidade de potência por tonelada de material. A retenção de solvente no farelo tem naturalmente grande influência no consumo de vapor do DT. Um aumento de 5% de solvente retido no farelo na saída do extrator implica em um aumento de 10 kg de vapor/ton. O consumo de vapor da dessolventização e da secagem do farelo representa 75% do do consumo total da planta de extração.

Na dessolventização do o perfil tempo-temperatura-umidade do processo permite, além da remoção de solvente, um tratamento térmico suficiente para inativar as enzimas e inibidores indesejáveis e melhorar a palatabilidade da refeição. animais (tostar).

Um parâmetro importante na eficiência energética é a temperatura do vapor de saída do domo do DT, onde a alta temperatura do vapor por contato indireto e direto com a massa, faz com que o solvente aumente a sua temperatura e vaporize do farelo no DT. Os vapores de solvente e de vapor passam através do domo do DT são lavados continuamente com o próprio solvente para remover partículas sólidas do vapor e segue para evaporadores de película, onde uma boa parte da energia contida no vapor é regenerada (chamado de economizador) como fonte de aquecimento para o fluxo de miscela que vem do extrator

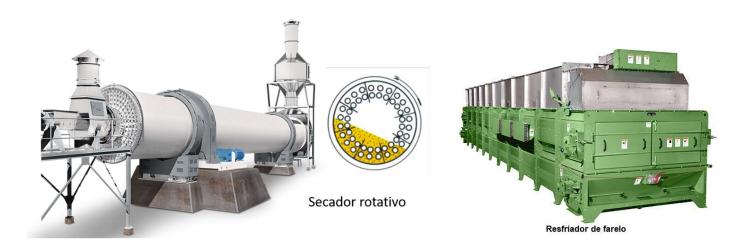
À medida que a temperatura do vapor DT aumenta, a proporção de vapor de água e vapor de solvente aumenta. Portanto, para minimizar a energia DT total, é muito importante manter a temperatura do vapor o mais baixa possível, inferior a 72 C. Determinar a configuração ideal da DT para um determinado aplicativo de processo é um processo bastante complexo. Requer a determinação de todos os parâmetros de entrada e o cálculo do balanço de massa e calor do DT e do resfriador de secador de refeições (DC) subsequente. O balanço de massa e calor do DC determinará a umidade de saída máxima permitida da DT, o que minimizará a energia de secagem do farelo. Essa umidade geralmente varia de 18 a 20%. Com a umidade de saída do DT determinada é calculado a quantidade de vapor direto introduzido no farelo. O diâmetro DT é geralmente determinado pela taxa de fluxo de vapor direto por unidade de área. É importante ter uma taxa de fluxo de vapor direto suficientemente alta por unidade de área, para permitir a remoção adequada do solvente.



O número de bandejas de contracorrente é determinado pelo tempo de permanência necessário para equilibrar a qualidade do farelo com minimo solvente residual. Calculando a demanda total de calor DT e subtraindo o calor fornecido pelo vapor vivo, é possível determinar o calor total fornecido pelo vapor indireto.

Subtraindo o calor fornecido pelo vapor indireto da bandeja de contracorrente do calor total fornecido pelo vapor indireto, fornecerá a quantidade de calor indireto do vapor que deve ser fornecido pelas bandejas de pré-dessolventização. Com essas informações em mãos, o diâmetro e a quantidade de bandejas pré-dessolventizadoras podem ser dimensionados.

A secagem e resfriamento pode ser feita usando diversas tecnologias, mas o princípio é o mesmo para todas, injeção de ar aquecido na seção de secagem e usando ar em temperatura ambiente na seção de resfriamento, ou em equipamentos separados para cada etapa. O fluxo de ar quente e/ou ar frio é uniformemente distribuído através de um sistema de ar contracorrente, proporcionando resultados também eficientes em relação ao DTDC, que devem ser estudados caso a caso.



A miscela passa por uma série de etapas, onde após trocar calor no economizador com os gases do DT, passa novamente por aquecimento e vaporiza o solvente em um evaporador, que condensa o solvente e a fração concentrada de óleo, segue para o strepper, onde o óleo termina o processo de desolventização e passa em um secador a vácuo, resfriador e segue para estocagem e refino do óleo.

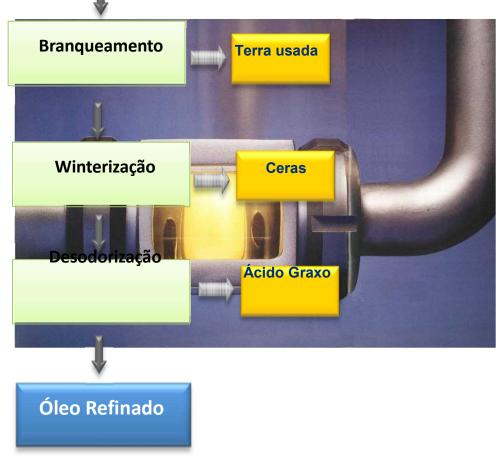


### REFINO DE ÓLEO DE CAROÇO DE ALGODÃO:

O refino completo de óleo de algodão compreende 4 fases: Neutralização Alcalina (ou semi-refino), Branqueamento, Winterização e Desodorização, conforme ilustrado no fluxograma abaixo:



NEUTRALIZAÇÃO (SEMI-REFI<sup>®</sup>O) DE ÓLEO DE ALGODÃO:



.



O óleo refinado para fins alimentícios deve ter características de sabor e odor leves, aparência clara, cor clara, vida útil longa e adequado para fritar, sendo muito utilizado como ingrediente, óleo de salada, margarina, e o favorito para frituras. Outra aplicação do óleo semi-refinado, é a utilização como matéria prima para produção de biodiesel.

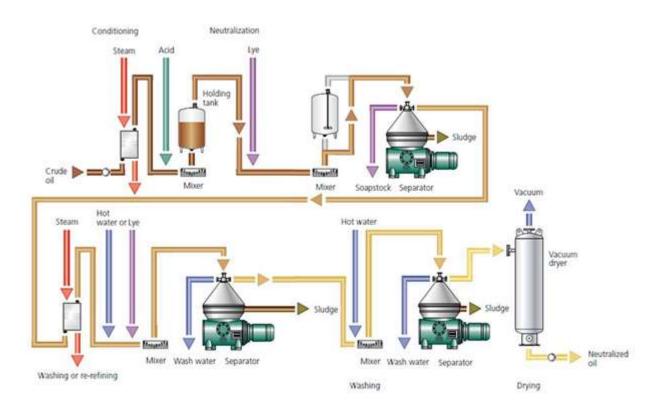
O óleo bruto de semente de algodão é diferente de todos os outros óleos, pois contém muitos tipos de substancias contaminantes, principalmente o gossipol, que promovem cor escura e cheiro forte de óleo bruto, que o desqualifica para a comercialização. Mais de 2% do óleo de semente de algodão é composto por gossipol, fosfolipídios, carboidratos, esteróis, resinas, etc... O objetivo do processo de refino é remover estes constituintes indesejáveis do óleo, principalmente o gossipol, fosfatídeos e ácidos graxos livres



O gossipol é sensível ao calor e à oxidação, formando compostos escuros que são difíceis de remover do óleo, mesmo por reação com cáustica. Por isto, todo cuidado é pouco quando se fala de óleo de algodão.

O processo de neutralização de óleo de algodão deve ser feito em três estágios, que é um processo usado exclusivamente para o óleo de semente de algodão, para conseguir obter uma melhor qualidade de óleo, com baixos níveis de gossipol e para reduzir as perdas do processo. Este processo é chamado de re-refino, ou seja, primeiro é feito um tratamento com soda cáustica concentrada e um segundo tratamento do óleo com soda cáustica diluída, a fim de eliminar o gossipol, seguido de uma etapa de lavagem do óleo.





## REFINO DO ÓLEO (OU NEUTRALIZAÇÃO) EM FASE MISCELA:

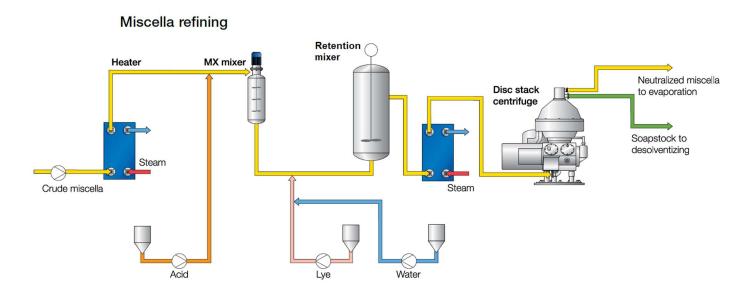
O óleo de algodão bruto possui odor e sabor característicos fortes devido à presença de gossipol, fosfolipídeos, esteróis, resinas, carboidratos e alguns pigmentos, entre outras substâncias indesejáveis, os quais são eliminados quase que totalmente durante o processo de refino, para tornar o óleo aceitável comercialmente. Com o intuito de eliminar tais compostos presentes no óleo de algodão, o processo de neutralização em fase miscela é o mais indicado para óleo de algodão.

O refino de miscela é uma alternativa tecnológica perfeitamente dominada e é o método mais comum para o tratamento de óleo de algodão nos Estados Unidos e na Índia. No Brasil, se criou muitos mitos sobre "riscos" devido ao solvente e este processo não foi muito difundido. A presença de solventes no óleo significa que a centrífuga de discos deve ser inertizada usando nitrogênio, em conformidade com as normas apropriados à prova de explosão.



O refino alcalino de óleo de algodão em fase miscela é especialmente indicado para o óleo de caroço de algodão, pois tem várias vantagens sobre as tecnologias de refino convencionais, em comparação com as tecnologias convencionais de refino com soda cáustica: (1) maior rendimento de óleo, (2) a eliminação da etapa de lavagem com água, (3), produz um óleo de cor mais clara mesmo sem o branqueamento, (4) menores consumos de produtos químicos, (5) menor custo para refinar o óleo.

A miscela concentrada, depois da separação do óleo por diferença de solubilidade deve ter uma concentração de óleo em torno de 40-50%, que é ideal para o processo de refino em fase miscela.



O processo e neutralização de miscela é idêntico à neutralização alcalina convencional, porém feito à baixa temperatura, sem risco de fixar o gossipol no óleo. A borra resultante é acidificada para evitar a formação de espuma e passa por um pequeno "stripper", para evaporação e recuperação do solvente.

A grande diferença entre as densidades da miscela neutralizada e da borra resulta em uma separação muito eficiente na centrífuga de discos, o que significa que geralmente não é necessário lavar o óleo posteriormente.

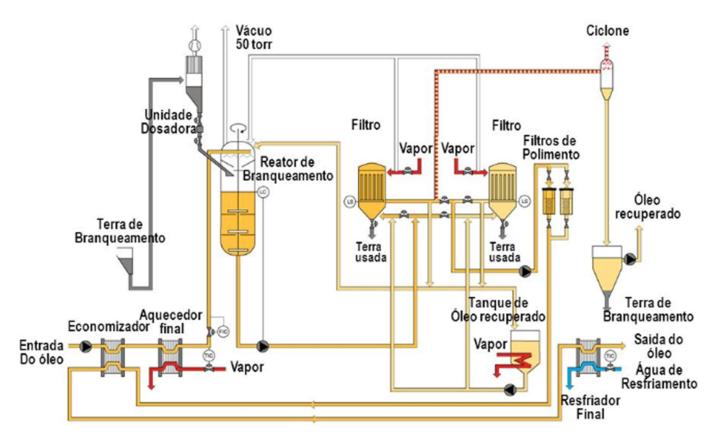
O processo de refino envolve perdas elevadas de óleo neutro e altos custos de produção, que é uma constante preocupação do refinador para buscar processos opcionais, que proporcionem melhores rendimentos e menor custo de produção, os quais constam de um conjunto de processos (etapas):



#### **BRANQUEAMENTO:**

O processo de branqueamento é uma operação importante do processo de refino de óleo de caroço de algodão, pois o óleo após a neutralização ainda apresenta impurezas que precisam ser removidas do óleo, pois afetam adversamente a aparência física e a qualidade do óleo, e assim obter um óleo de alta qualidade para o uso comestível.

As impurezas restantes após a neutralização com soda cáustica são: vestígios de gossipol, sabões, fosfatídeos, peróxidos, produtos de oxidação secundária e metais pró-oxidantes, que removem estas impurezas, através da interação do óleo com um adsorvente (argilas especiais).



O processo consta da dosagem da argila adsorvente no óleo, que é submetido a ação de vácuo e temperatura (entre 90-105°C), onde o processo é controlado tipicamente monitorando-se a cor e a clorofila, pois estes são os parâmetros mais fáceis de medir. O tempo de contato entre o óleo e a argila varia tipicamente entre 15 e 45 minutos, passando por um filtro hermético, onde o óleo é separado da argila e encaminhado para as próximas etapas de refino (winterização e desodorização).



#### WINTERIZAÇÃO OU DESCERIZAÇÃO:

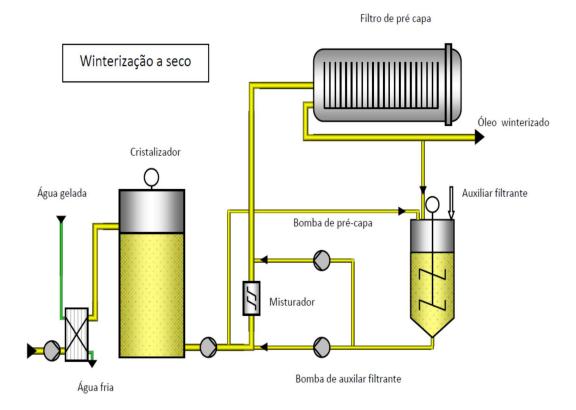
O óleo de algodão contem ceras e a estearina, que não são solúveis à baixas temperaturas, deixando o óleo com aspecto turvo, depreciando o produto, especialmente quando o óleo de algodão é para o consumo como óleo de salada, e como ingrediente para a indústria de maionese e molho para salada, devendo então ser "invernado", ou seja, as ceras devem ser removidas por um processo de resfriamento seletivo, para que o óleo permaneça claro quando exposto a temperaturas baixas. Esse processo é aplicado para remover pequenas quantidades de sólidos do óleo que normalmente causariam nebulosidade do óleo quando mantidas em temperatura de refrigeração.

Para obter óleo com boa estabilidade ao frio, a cera precisa reduzir para o nível de cerca de 10 ppm. Nesse processo, o óleo é resfriado lentamente, onde a taxa de resfriamento e a agitação são cuidadosamente controladas para promover a formação de núcleos que servirão como locais para o crescimento de cristais, que são separados em filtros especiais

Basicamente são utilizados dois processos para o fracionamento de óleo de algodão: fracionamento a seco e o fracionamento a úmido.

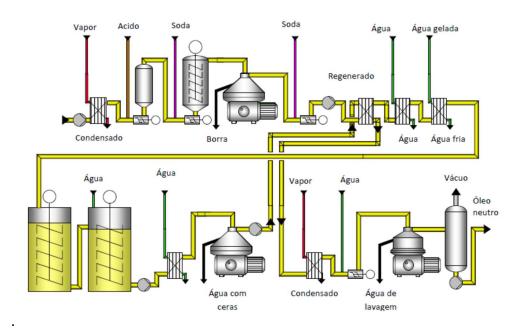
O fracionamento a seco é um processo em batelada, onde O óleo é resfriado lentamente em tanques, até uma temperatura de cerca de 4°C, onde as ceras e estearinas são cristalizadas e separadas da fração líquida de baixo ponto de fusão (oleína). No processo de fracionamento a seco, o óleo é resfriado a uma temperatura desejada seguindo uma curva de resfriamento em função do tempo, onde a temperatura do óleo é reduzida de forma controlada e sob agitação lenta, para assegurar a cristalização das ceras. Os cristais são retirados por filtros especialmente projetados para este processo.





O processo de winterização via úmida é feito simultaneamente com a neutralização alcalina, onde o óleo é resfriado seguindo uma curva de resfriamento em função do tempo, até atingir uma temperatura baixa, a qual os sabões da remanescentes da neutralização, propositalmente deixados no óleo, fornecem os núcleos para formação cristais, que são separados pelo processo de centrifugação a frio.



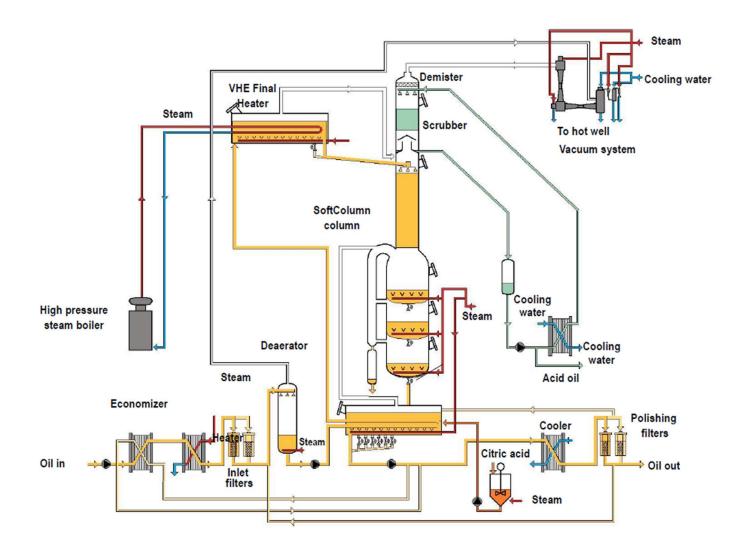


Há ainda referências de processadores que empregaram sistemas de fracionamento com solventes para produtos altamente especializados, para aplicações farmacêuticas, que tem mercado muito restrito.

## **DESODORIZAÇÃO:**

A desodorização é essencialmente um processo de destilação a vapor realizado a baixa pressão (alto vácuo) e temperaturas elevadas, cujo objetivo é remover os ácidos graxos livres e os as substâncias odoríferas que promovem odor e sabor desagradáveis, que não foram removidos nas etapas anteriores.

Para remover as substâncias odoríferas, a temperatura do óleo branqueado e winterizado é aumentada de 105°C para altas temperaturas 250-260°C, onde o óleo é submetido a ação de um alto vácuo, sob injeção de vapor direto (vapor vivo), onde ocorre a destilação, para evaporar todas as substâncias odoríferas. O óleo desodorizado resultante é praticamente sem sabor e sem odor.





## PRODUÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA

O processamento do caroço de algodão é um processo que exige energia térmica na forma de vapor para as várias fases do processamento( cozimento, condicionamento, expander mas principalmente na remoção do solvente e secagem do farelo, sendo que essas duas ultimas etapas representam 75% do consumo de vapor.)

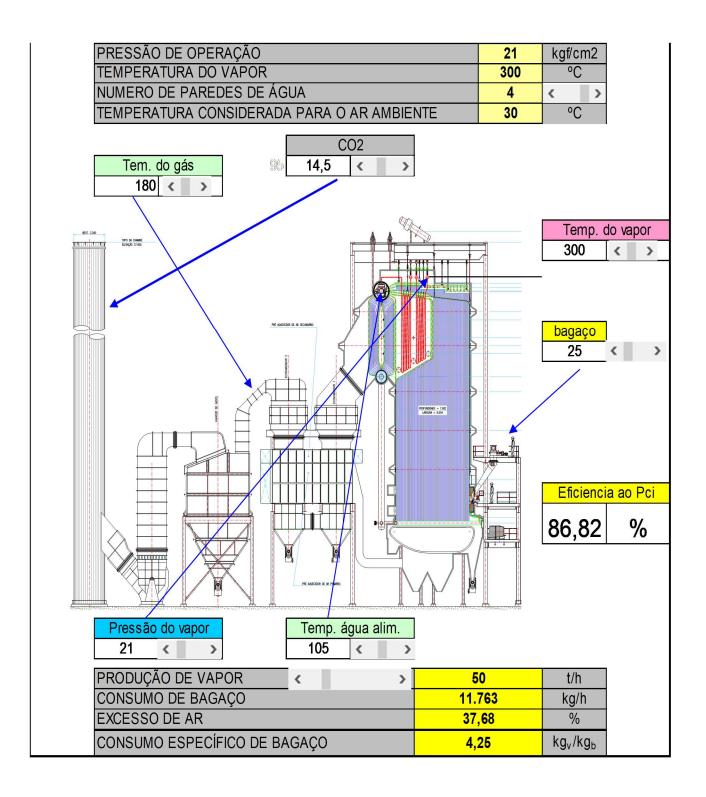
Para a produção de cerca de 50 tvh elegemos uma caldeira de fabricação DEDINI modelo BMP com capacidade de produção de até 65 tvh com pressão de 21 kgf/cm² com pressão máxima admissível de 28 kgf/cm². Esse equipamento compreende além da caldeira propriamente dita, lavador de gases, exaustores, chaminé, desareador, bombas, grelhas, todos acionados automaticamente. Éssa caldeira de biomassa pode operar queimando bagaço de cana, pó de serra, cavaco de eucalipto, casca de caroço de algodão ou outra biomassa com umidade até 55%

.Como o processamento do caroço exige baixas pressões, o vapor produzido pela caldeira com 21kgf/cm² (21 bar) passará por um turbo gerador de energia elétrica que produzirá toda a eletricidade necessária para acionamente de todos os motores da fábrica e possilvemente alguma energia excedente para outras áreas da empresa.

O gerador proposto é de fabricação TOSHIBA com potência de 5.000 KVA, tensão de 6.600 V e 60 HZ, com um redutor DEDINI modelo G 1 R500 e turbina DEDINI DME-560 múltiplos estágios

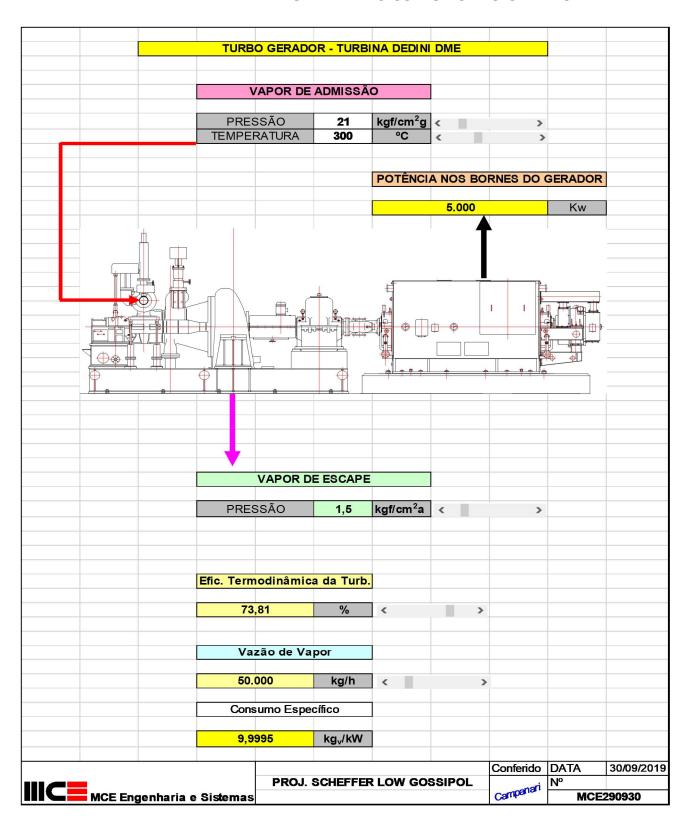


#### DIAGRAMA BÁSICO DA CALDEIRA E PERIFÉRICOS

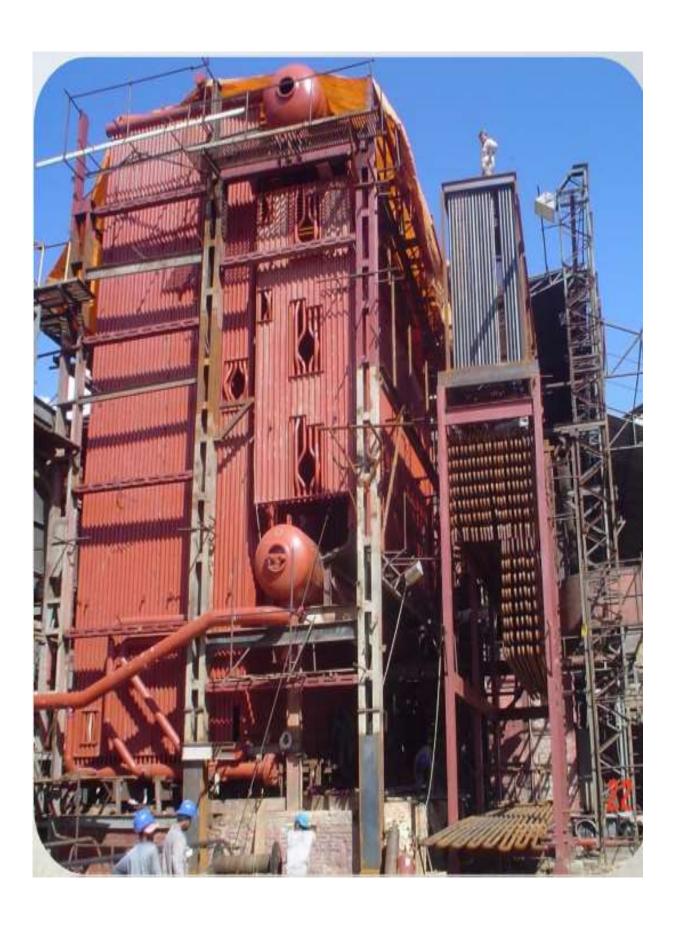




#### DIAGRAMA BÁSICO DO TURBO GERADOR



#### **FOTO DE CALDEIRA SEMELHANTE**





Apresentamos abaixo os valores de receitas, custos, investimentos e retornos esperados, plantas de extração de óleo e farelos de caroço de algodão .

Nessa opção o processamento será de 200.000 ton. em 330 dias, reservando-se 35 dias para férias e manutenções.

# PLANTA DE FARELO DE CAROÇO DE ALGODÃO

1-Capacidade efetiva anual de moagem (330 dias)	200.000 ton caroço
2-Capacidade diária em 330 dias	600 ton caroço
3-Produção anual farelo de caroço de algodão 55%	80.000 ton
4-Produção anual de óleo refinado	36.963 ton
5-Produção anual de casca do caroço –	61.605 ton
6-Produção anual de linter	11.332 ton

# INSTALAÇÕES PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA

1-Caldeira de 50 ton vapor/hora com pressão de 21 bar para queima de biomassa

2-Turbo gerador de contrapressão de 5 MW

3-Necessidade de cavaco de eucalipto 120.000 ton.

(utilizando a casca do caroço o consumo de cavaco será de 43.000 ton.

4-Geração máxima de vapor por hora 40 tvh

5- Geração de energia elétrica anual para consumo 26.961 MWh



# COMPARATIVO ENTRE VENDA DO CAROÇO E INDUSTRIALIZAÇÃO INDUSTRIALIZAÇÃO DE 200.000 TON. DE CAROÇO

#### **FATURAMENTO DOS SUBPRODUTOS**

Farelo 55%-40,0%=80.000 a US\$ 370 - FOT Rondonópolis=	US\$ 29.600.000 (*)
Linter 5,66% =11.332 ton. a US\$ 450,00 FOT Rondonópolis	US\$ 5.094.000
Óleo refinado -18,48%=36.963 ton- US\$ 1.930,00 FOT Rond.	US\$71.338.590

Casca -30,80%-61.600 ton usada como combustível

#### Faturamento total/ ha com industrialização

US\$ 106.032.590

(\*) O farelo 55% sem fatores antinutricionais se equipara ao SPC 62% usado em rações de peixes e que vale a 1.190 Euros em Rotterdan, equivalente a 800 Euros ou aproximadamente R\$ 4.000,00 em Rondonópolis)

#### CUSTO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DO CAROÇO

Caroço de algodão-200.000 ton. a U	S220,00-		US\$ 4	4.000.000
Combustível cavaco eucalipto -43.00	0 ton a US\$50,00		US\$	2.150.000
Combustível casca de caroço. 61.600	ton			
Custos industriais 200.000 ton. a US\$	5 7,00		US\$ 2	1.400.000
Outros custos –refinaria 36.963 ton.	a US\$ 18,71		US\$	691.578
Custos administrativos e comerciais	200.000 ton a US\$	6,50	US\$ 1	1.300.000
Depreciação e manutenção CAPEX U	S\$ 25.000.000 25 a	nos	US\$ 1	1.000.000
Juros do CAPEX US\$ 25.000.000 6%	a.a.		US\$ 1	1.500.000
Frete de farelo, linter e óleo ao Porto 128.295 ton. a US\$60,00 US\$ 7.697.700			7.697.700	
Custos de certificação 2% s/ faturam	ento		US\$ 2	2.120.652
Custo total/há com a industria	lização		US\$ 6	1.859.930
SALDO ANUAL COM A INDUSTRIA	ALIZAÇÃO		US\$ 4	4.172.660
Capital de giro – 100.000 ton caroço de algodão a US\$ 220,00 US\$ 22.000.000				
VPL- US\$ 131.808.107	TIR- 108%	PayBack	3,5 aı	nos