

FUNDAMENTOS DE TECNOLOGIA SUCROALCOOLEIRA

2ª Parte

TECNOLOGIA DO ÁLCOOL

**Carlos A. F. Ribeiro
Solange A. G. Blumer
Jorge Horii**

Piracicaba

1999

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	2
2. TRATAMENTO DO CALDO PARA A PRODUÇÃO DE ÁLCOOL	3
2.1. Condução do tratamento	3
2.1.1. Peneiramento	4
2.1.2. Caleagem	4
2.1.3. Aquecimento	5
2.1.4. Decantação	5
2.1.5. Concentração do caldo	6
3. PROCESSOS FERMENTATIVOS INDUSTRIAIS	8
3.1. Cinética do desenvolvimento das leveduras	9
3.2. Fisiologia das leveduras	12
3.3. Preparo do mosto	15
3.4. Preparo do fermento	16
3.5. Condução da fermentação alcoólica	16
3.5.1. Fases da fermentação alcoólica	17
3.5.2. Processos industriais de condução da fermentação	17
3.5.2.1. Processos descontínuos	18
3.5.2.2. Processos contínuos	18
3.5.3. Recuperação do fermento	21
3.6. Processos contaminantes da fermentação alcoólica	23
3.7. Parâmetros de controle da fermentação alcoólica	23
4. DESTILAÇÃO	27
5. RETIFICAÇÃO	29
6. DESIDRATAÇÃO	30
7. SUBPRODUTOS DA AGROINDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR	31
8. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	33

1. INTRODUÇÃO

Por ocasião da criação de PROÁLCOOL em 1975, houve grande fomento à produção de álcool a partir de cana-de-açúcar, sendo responsável por considerável aumento na produção nacional.

Este programa tinha como principal objetivo contornar a crise do petróleo, deflagrada pela OPEP em 1973, através de incentivos à pesquisa e à produção de álcool combustível, diminuindo-se assim os gastos com a importação de petróleo.

Paralelamente a este aumento de produção, foi também observado o crescimento científico no desenvolvimento de tecnologia apropriada às nossas condições, atualmente responsável pela manutenção de elevados rendimentos industriais durante todo o decorrer da safras.

Este crescimento tecnológico envolveu o desenvolvimento de novas variedades, tendo em vista o aumento dos rendimentos agrícolas e industriais, além do aumento do teor de fibra, necessária ao balanço energético da usina; o desenvolvimento de métodos de cultivo e de sistema de corte e carregamento que assegurassem o abastecimento com matéria-prima de qualidade; o estudo e o aprimoramento de sistema de extração para a melhoria da recuperação do açúcar contido na cana e para a manutenção de sua qualidade; o desenvolvimento e a implantação de sistemas de tratamento de caldo, de fermentação e de produtos que otimizem o processo como um todo; estudos sobre o aproveitamento de subprodutos e sobre destino de resíduos.

Este breve sumário deixa evidente o papel do Engenheiro Agrônomo nas atividades científicas e industriais do setor sucroalcooleiro, uma vez que este profissional possui formação exclusiva em produção vegetal e de processos produtivos, tendo ainda conhecimentos básicos de hidráulica e termodinâmica que, com pouco aprofundamento satisfazem as necessidades advindas do gerenciamento industrial e agrícola.

Um atraente segmento do setor tem sido os subprodutos do processamento, tais como o óleo de fúsel e a levedura seca, que a cada dia tem ganhado espaço e valor agregado no mercado, tornando a indústria ainda mais versátil quanto aos produtos gerados.

2. TRATAMENTO DO CALDO PARA A PRODUÇÃO DE ÁLCOOL

Para uma boa evolução do processo de fermentação-destilação deve ser requerida do caldo de cana, uma qualidade que não comprometa a condução normal de um processo de fermentação e nem cause problemas na centrifugação do vinho ou na destilação. Além da qualidade intrínseca da matéria-prima, faz-se então necessário que se proceda o tratamento do caldo, o qual tem por objetivos:

- eliminação de impurezas grosseiras (bagacilho, areia etc), que aumentam o desgaste dos equipamentos e as incrustações, além de diminuírem a capacidade de produção e dificultarem a recuperação do fermento;

- máxima eliminação de partículas coloidais, responsáveis pela maior formação de espuma e também por dificultarem a recuperação do fermento;

- preservação de nutrientes: vitaminas, açúcares, fosfatos, sais minerais, aminoácidos livres, etc., necessários ao metabolismo das leveduras;

- minimização de contaminantes microbianos, os quais competem com as leveduras pelo substrato e podem produzir metabólitos tóxicos à estas diminuindo a eficiência, a produtividade de fermentação e a viabilidade do fermento, além de formarem gomas que aumentam a viscosidade do mosto em fermentação causando problemas de transferência deste, principalmente os relacionados ao resfriamento e por causarem floculação do fermento.

Deve-se salientar que o rendimento de uma destilaria depende de uma série de fatores, tais como: qualidade de cana, eficiência de lavagem da cana, preparo da cana para moagem, assepsia da moenda e condução do processo fermentativo e principalmente do cuidadoso tratamento de caldo.

2.1. Condução do tratamento

O tratamento de caldo para produção de álcool envolve: peneiramento, caleagem, aquecimento, decantação, concentração e resfriamento.

Considera-se que a lavagem da cana é responsável pela remoção de grande parte das impurezas grosseiras, sendo essa eficiência dependente não só do volume de água, mas também da qualidade de aplicação, do tipo de mesa instalada e das condições de solo e clima quando do carregamento .

2.1. Peneiramento

Visa a redução das partículas leves (bagacilho) principalmente nas peneiras tipo DMS e as partículas pesadas (areia, terra, etc) nos hidrociclones, hoje substituídas pelas peneiras rotativas sobre a esteira de cana.

Esses equipamentos conseguem eficiência de 70-85%, dependendo do teor de sólidos na alimentação, condições de operação, abertura de telas, etc.

As principais vantagens com a sua utilização são, principalmente, redução de entupimento e de desgastes em outros equipamentos, válvulas, bombas, etc.

2.2. Caleagem

O tratamento de caldo com leite de cal não somente provoca a floculação e favorece a decantação das impurezas coloidais, mas também protege os equipamentos contra a corrosão. Com relação ao pH a ser alcançado, deve-se salientar que quanto mais se aproxima de 7,0, maior é a remoção de nutrientes do caldo e o consumo de ácido sulfúrico no tratamento do fermento, além do excesso de cal causar incrustações na coluna de destilação e afetar o crescimento da levedura em cultura.

O pH próximo à neutralidade combinado com temperaturas baixas no aquecimento, pode provocar um menor resultado no tratamento térmico, diminuindo o efeito da eliminação dos microrganismos contaminantes.

O uso de pH da ordem de 5,6 a 5,8 no caldo decantado é uma faixa ótima, pois não provoca remoção significativa de nutrientes, diminui a agressividade corrosiva do caldo nos equipamentos, além de favorecer a redução do número de microrganismos e provocar suficiente floculação de matéria orgânica.

A caleagem é conduzida continuamente pela mistura do leite de cal com o caldo no tanque de caleagem, sendo a dosagem automaticamente controlada pelo monitoramento do pH do caldo caleado.

2.3. Aquecimento

O aquecimento é feito normalmente por aquecedores verticais, horizontais, tubulares e resfriamento por flash, constituindo-se às vezes num trocador regenerativo em uma concepção que se caracteriza pela redução significativa dos feixes tubulares e/ou placas. Desta forma pode se conseguir um custo global da ordem de 40-50% inferior ao dos equipamentos utilizados no processo com aquecedores tubulares e resfriamento por placas.

O aquecimento consiste em se elevar a temperatura do caldo a 103° -105° C para que se consiga eliminação dos gases por auto ebulição nos balões de flash. O aquecimento em si pouco reduz a contaminação microbiana devido ao baixo tempo de residência a elevada temperatura. Somente com uma decantação bem dimensionada se alcança bons resultados, pelo aumento do tempo de exposição dos microrganismos à temperatura.

Demais funções da temperatura sobre a clarificação do caldo já foram anteriormente discutidas.

2.4. Decantação

Visando a separação gravimétrica de impurezas com mínima remoção de nutrientes, a decantação é conduzida com menor intensidade na clarificação do caldo para destilaria do que para a produção de açúcar. Esta menor intensidade é dada pelo menor tempo de retenção do caldo no decantador, que se situa entre 3 e 3,5 horas contra 4 a 5 horas para a fabricação de açúcar.

Vem sendo utilizado pelas destilarias um decantador rápido sem bandejas, que apresenta menor custo e ocupa menor espaço que os decantadores convencionais. Entretanto é um equipamento mais sensível às variações e controle do processo, exigindo maior atenção operacional. Ainda os melhores resultados são conseguidos com decantadores convencionais ou Dorr.

Na decantação, um dos pontos mais polêmicos é a perda de ART através do lodo do decantador. Uma forma de minimizar esta perda é a instalação de um filtro rotativo para que o lodo seja lavado e o ART, que estava incorporado a ele, retorne ao processo. O investimento é alto, mas compensador, já que a perda de açúcar nessa operação pode ser da ordem de 0,2% de ART processado. A massa de torta de filtro resultante da filtração, em função de menor intensidade de tratamento, principalmente caleagem, é a metade ou menos em relação ao obtido na fabricação de açúcar, embora a concentração de açúcar na mesma possa ser maior.

2.5. Concentração do caldo

A concentração do caldo é uma das operações de tratamento que serve como estratégia tanto para a elevação do teor de açúcar total, com conseqüente aumento do teor alcoólico do vinho, quanto para se garantir a continuidade do processo fermentativo em paradas de moagem, quando se produz e armazena xarope. No caso de armazenamento de xarope, a sua concentração deve ser mais elevada possível, sem contudo atingir um limite próximo ao crítico da cristalização. A produção e armazenamento de xarope com baixa concentração pode favorecer infecções, responsáveis por consumo de açúcares, diminuindo a eficiência de fermentação, e ainda por estes contaminantes produzirem metabólitos tóxicos ao fermento. A concentração ideal para armazenamento parece ser da ordem de 60 brix, embora usualmente se produza com 50-55 brix. É importante salientar que a concentração do caldo tem características esterilizantes, por submeter o caldo a altas temperaturas por um tempo significativo embora posteriormente ocorram recontaminações que podem conduzir a sérios problemas de processo.

Para finalizar, a temperatura do caldo (ou mosto) que alimenta a dorna é um fator importante no rendimento da fermentação. O sistema de resfriamento de dorna é projetado para manter a temperatura de fermentação e não para resfriar o caldo. Portanto, o caldo proveniente do tratamento deve ser resfriado à temperaturas convenientes por um equipamento adicional antes de ser direcionado à alimentação das dornas.

A temperatura do caldo alimentando na dorna, acima da faixa de 28-30^o, acaba trazendo menor eficiência e produtividade na fermentação motivadas pela redução na viabilidade celular das leveduras e pelo aumento do número de microrganismos

contaminantes. O esquema geral de tratamento recomendado para destilaria é mostrado na figura 1.

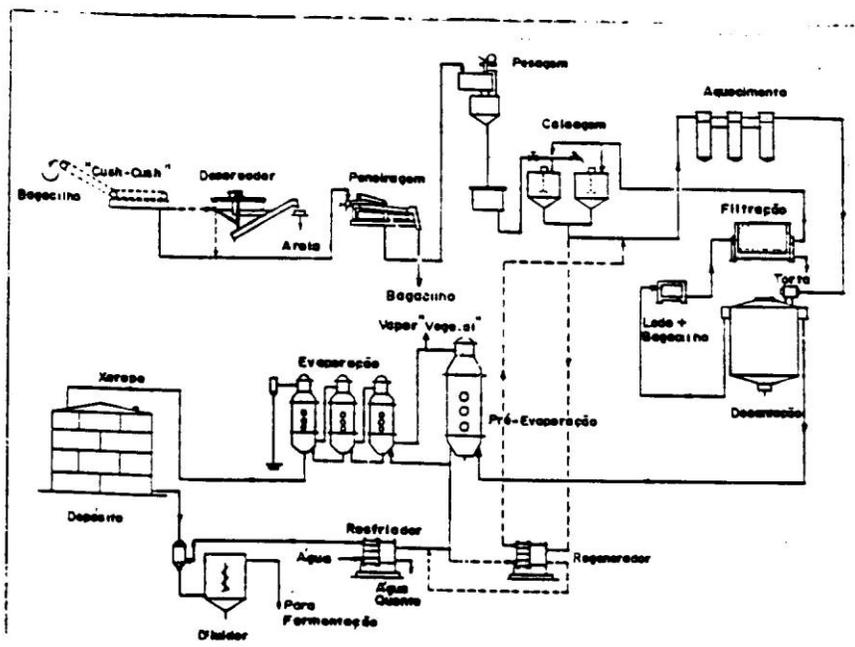


Figura 1 : Tratamento recomendado para destilarias

3. PROCESSOS FERMENTATIVOS INDUSTRIAIS

A bio-transformação da matéria-prima em álcool é efetuada por microrganismos, usualmente leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, através da fermentação alcoólica.

Para que a fermentação tenha uma condução satisfatória, tanto quanto possível dentro de especificações técnicas, é imprescindível que se inocule no mosto, uma quantidade de microrganismos capaz de converter os açúcares em álcool e gás carbônico, dentro de determinadas condições. Este conjunto de microrganismos recebe a denominação de "pé-de-cuba" ou simplesmente fermento.

Em certas regiões é comum ocorrer o processo fermentativo ao colocar o mosto nas dornas, sem que se faça a inoculação do fermento. Este fato, que ainda muito se

observa em pequenas indústrias de aguardente, é atribuído à presença de leveduras selvagens provenientes das culturas, do ar, etc.

A levedura selvagem é aquela que se encontra em seu estado natural, ou seja, não foi ainda manipulada antes do trabalho industrial, como no caso da produção de álcool. As fermentações desenvolvidas com estes microrganismos frequentemente são aleatórias, irregulares e de baixo rendimento. Convém salientar, entretanto, que muitas das leveduras usadas industrialmente são originárias de linhagens selvagens devidamente selecionadas.

As leveduras para emprego na indústria do álcool e das aguardentes devem apresentar certas características: velocidade de fermentação, tolerância ao álcool, rendimento, resistência e estabilidade.

A velocidade de fermentação é determinada pela quantidade de açúcar fermentado, na unidade de tempo, por uma dada massa de leveduras. Uma grande velocidade de fermentação é importante porque independentemente da busca por um microrganismo que aumente o rendimento ou a eficiência de transformação de açúcar em álcool, procura-se sempre otimizar o processo através do aumento de produtividade, expresso em g de álcool x L de vinho⁻¹ x hora⁻¹, diminuindo-se assim o tempo de fermentação. O ganho em produtividade através de fermentações rápidas, também reduz o risco de infecção por microrganismos prejudiciais, aumenta a produção diária e reduz conseqüentemente o custo de produção.

As leveduras que apresentam tolerância a teores elevados de álcool permitem a obtenção de vinhos de maior riqueza alcoólica e conseqüentemente, um maior rendimento dos aparelhos de destilação além de menor possibilidade de infecção, visto que o álcool é um anti-séptico natural.

O rendimento, ou seja, a relação entre açúcar consumido e álcool produzido, deve ser elevada, sendo esta uma condição essencial para uma levedura industrial.

A resistência a acidez é uma propriedade importante, pois, um recurso comumente utilizado pelas destilarias no combate a infecções, é baixar o pH do inóculo inicial (pé-de-cuba) até valores em torno de 2,0 embora rotineiramente se faça tratamento ácido entre 2,5-2,8.

A estabilidade genética da linhagem é desejável para que se possa trabalhar ao longo da safra com a espécie e linhagem desejada.

3.1. Cinética do desenvolvimento das leveduras

Utilizamos os termos desenvolvimento ou crescimento, para referirmos ao aumento populacional consequente da multiplicação celular e não propriamente ao aumento dimensional ou volume de uma célula.

A cinética do crescimento de leveduras pode ser melhor compreendida por meio de um exemplo, onde um pequeno número de células é inoculado em um volume relativamente grande de meio contendo os nutrientes e sob condições próximas, tanto quanto possíveis, ao ótimo de temperatura, pH, aeração e agitação. Em tal caso, as seguintes fases de crescimento podem ser reconhecidas: fase inicial ou lag-fase, fase de aceleração do crescimento, fase exponencial, fase de desaceleração do crescimento, fase estacionária e fase declínio.

A fase inicial (lag-fase) começa quando as células de leveduras são inoculadas em um novo meio, e neste período, o número de células totais e viáveis permanece praticamente constante; trata-se de uma fase de adaptação das leveduras ao novo meio. A duração e o padrão da lag-fase são marcadamente influenciadas pela linhagem de levedura considerada, pela idade das células antes da transferência e pela composição, tanto do meio na qual a levedura vinha sendo cultivada quanto do novo meio em que foi inoculada. Em geral, a lag-fase é de curta duração ou quase inexistente quando as células de uma cultura parental estão em ativo crescimento (fase exponencial) e quando a composição, tanto do meio anterior como do atual, são semelhantes.

A fase de aceleração do crescimento, caracterizada pelo aumento gradual da velocidade de multiplicação celular, é dada pelas diferentes capacidades individuais dos microrganismos de se adaptarem ao meio e atingirem, individualmente, sua máxima atividade metabólica em tempos diferentes.

A fase exponencial de crescimento tem início após a fase de aceleração, ocasião em que se inicia um aumento exponencial do número de células dado pela população atingir a velocidade máxima de crescimento, sendo que cada célula se divide a intervalo constante de tempo. O tempo que as leveduras levam para se duplicar denomina-se tempo de geração e este é, mais ou menos, constante para cada cultura. Nesta fase também é observada a máxima produtividade de etanol.

A duração da fase exponencial é controlada, em grande parte, pela composição e estado físico do meio, bem como pelo número de células por unidade de volume. O acúmulo de metabólitos e produtos finais produzem inibição da multiplicação.

A quantidade de inóculo não influencia o tempo de geração durante a fase exponencial, mas, pequeno volume de inóculo prolonga a fase de ativa multiplicação, visto que o ponto de equilíbrio da população demora mais a ser atingida, em função, principalmente, da concentração dos produtos finais.

Após um certo tempo, dependendo da linhagem da levedura considerada e das condições ambientais, o período de crescimento exponencial tende a um final.

Inicialmente, a velocidade de multiplicação tende a diminuir até que o número de células permaneça por um considerável período de tempo, quase constante. Em realidade, o que acontece é um baixo consumo de energia, somente para a manutenção da viabilidade até esgotamento das reservas quando inicia um processo de morte. É a fase estacionária.

De um modo geral, os fatores preponderantes que determinam esse período são a depleção de nutrientes e o acúmulo de produtos finais.

Após esse período o número de células que morre reduz a população e então, a cultura se encontra em fase de declínio.

A rapidez com que as células morrem ou sobrevivem por mais tempo é ditada pela composição do meio (esgotamento de nutrientes, acúmulo de produtos finais etc) e pelas condições físicas e químicas do meio (pH, temperatura). Por vezes, devido a autólise das células, as sobreviventes podem se multiplicar aumentando esta fase. Por fim, muitas delas que sobrevivem nesta fase entram num estágio diferente de seu ciclo vital podendo formar esporos ou ascósporos. As fases de crescimento de leveduras em função do tempo de fermentação são ilustradas na figura 2

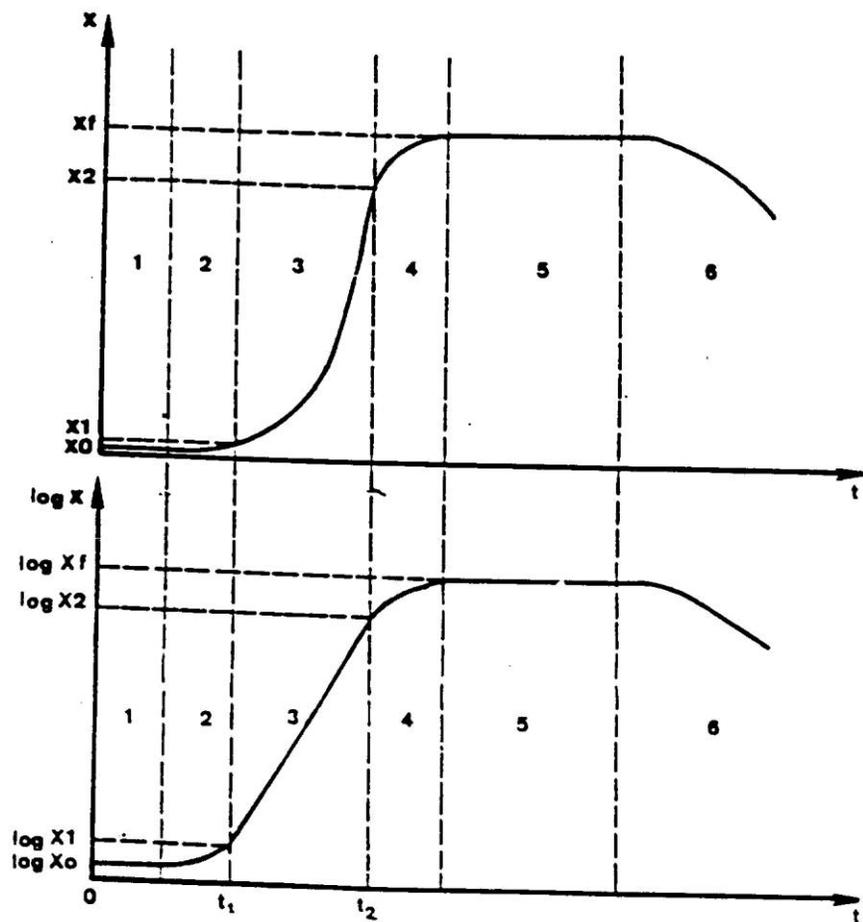


Figura 2 - Fases de crescimento das leveduras em fermentação

1 - Lag-fase; 2 - Fase de aceleração do crescimento; 3 - Fase exponencial de crescimento; 4 - Fase de desaceleração do crescimento; 5 - Fase estacionária; 6 - Fase de declínio.

3.2. Fisiologia de leveduras

A atividade celular é uma ordenada sequência de reações bioquímicas mediadas por enzimas.

O metabolismo nas leveduras é resultante de dois processos fundamentais: o catabolismo ou desassimilação e o anabolismo ou assimilação.

No catabolismo, os microrganismos promovem a degradação do substrato, enquanto no anabolismo, eles promovem a síntese de material celular.

As reações químicas associadas ao catabolismo envolvem reações exergônicas e, desta forma, ocorre a liberação de energia para utilização nas sínteses dos elementos celulares, sendo o excedente perdido na forma de calor.

Os fenômenos catabólicos compreendem a respiração e a fermentação.

A respiração é uma oxidação biológica dos substratos orgânicos onde atuam sistemas multienzimáticos que catalizam a oxidação, o transporte de elétrons na cadeia respiratória onde o oxigênio é o último aceptor de elétrons, até a formação da água.

A fermentação é constituída de reações em que compostos orgânicos atuam como substratos e como agentes de oxidação, em uma seqüência ordenada de reações enzimáticas. Tem em comum com a respiração a via glicolítica, até a formação de piruvato, o qual é descarboxilado a aldeído acético, seguindo a redução a etanol.

Muitas leveduras são organismos facultativos que possuem a habilidade de obter energia para seu próprio uso, a partir de adequados compostos orgânicos, tanto sob condições aeróbicas quanto anaeróbicas.

Nas células de leveduras, sob condições aeróbicas, os açúcares são metabolizados a CO₂ e água, com liberação de energia que, nessa via, é máxima.

Portanto, na presença de oxigênio e em baixa concentração de açúcares decresce a taxa de fermentação alcoólica. É o chamado efeito Pasteur.

Se não houver oxigênio disponível, a liberação de energia por molécula de açúcar é baixa e, sob esta condição, a fermentação do açúcar conduz primariamente à formação de etanol e do CO₂.

Na figura 3 é mostrado o efeito ambiental sobre o comportamento metabólico em *Saccharomyces cerevisiae*, onde observa-se a formação preferencial de biomassa apenas em baixas concentrações de açúcares e em presença de oxigênio.

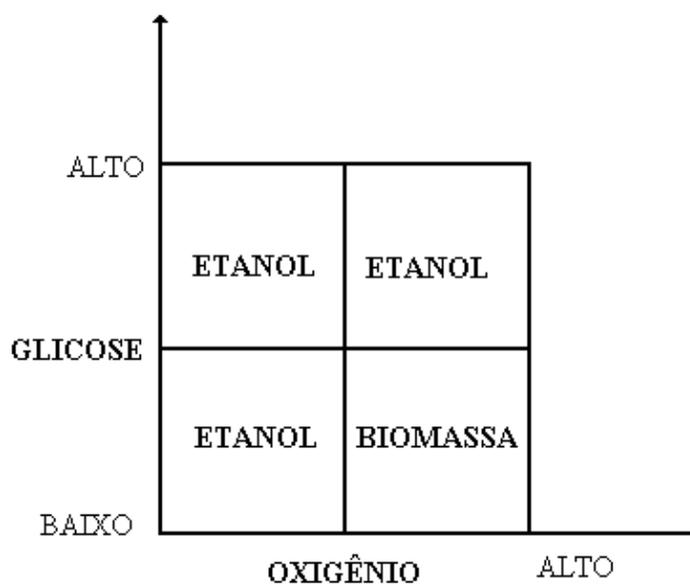


Figura 3 - Efeito da condição ambiental sobre o comportamento metabólico em *S. cerevisiae*

Isto ocorre em função do efeito “Crabtree”, que é a inibição e repressão dos citocromos pela concentração de açúcares, reduzindo portanto a respiração, o que faz com que as leveduras acelerem o processo fermentativo mesmo que haja oxigênio dissolvido no meio de fermentação. Ocorre portanto uma típica fermentação anaeróbica com produção de etanol ainda que em presença de oxigênio.

Embora a condição de anaerobiose seja fundamental para o sucesso da produção industrial de álcool, existem outras condições ditadas pelas necessidades das leveduras, como determinados nutrientes e fatores ambientais, que devem ser atendidos.

Por exemplo, os elementos C, H, O, N, P, K, S, Ca e Mg, em concentrações maiores e os elementos Mn e Fe em concentrações menores são fundamentais, desempenhando papéis de grande importância no metabolismo.

É importante lembrar que $C_6H_{10}O_3N$ compõe a maior parte da matéria seca das leveduras, sendo esses elementos responsáveis por 92% da fórmula geral da matéria orgânica. Todos os minerais juntos somam os restantes 8% da matéria seca.

Na reação aeróbica de dissimilação do açúcar ou num cultivo aeróbico, poucos produtos resultam do metabolismo. O açúcar e uma adequada fonte de N promovem a formação de massa celular, CO_2 e H_2O . Cada 100 g de ART é capaz de se transformar

em 47,5 g de matéria ou cada 100 g de sacarose em 50 g de matéria seca. Já em anaerobiose, a fermentação de um açúcar leva a produção de numerosos produtos, entre os quais matéria seca que corresponde a 4% daquele que pode ser produzido em aerobiose, portanto 2 g a cada 100 g de açúcar, glicerol, álcoois homólogos superiores, ácidos orgânicos, aldeídos, ésteres, e o etanol equivalente a 90-91% daquilo que poderia ser teoricamente obtido pela equação estequiométrica de Gay-Lussac. Notem que da massa celular ou matéria seca no máximo 8% é o total de sais minerais, daí a importância dos sais minerais mas a não necessidade de suplementação na fermentação devido a própria riqueza do caldo de cana e por consequência, do melação.

O suprimento de nitrogênio às leveduras é essencial ao crescimento e à fisiologia, uma vez que a síntese de proteínas, enzimas, ácidos nucleicos etc estão na dependência da existência da fonte nitrogenada.

Todas as leveduras são capazes de utilizar sais de amônio como fonte de nitrogênio. Entre os sais amoniacais, os melhores são: diamônio fosfato, mono e tri amônio fosfato, sulfato, bicarbonato, carbonato, acetato, lactato e tartarato de amônio. O cloreto de amônio tem se mostrado como uma fonte de nitrogênio de inferior qualidade.

As leveduras alcoólicas são incapazes de assimilar nitratos, porém, assimilam uréia que é uma boa fonte, comparável ao sulfato de amônio. Porém, em função dos metabólitos produzidos pela levedura na assimilação de uréia, tais como os carbamatos, a suplementação de mosto para a fabricação de bebidas alcoólicas deve ser evitada.

As leveduras assimilam ainda aminoácidos e peptídeos, e parte desses aminoácidos são convertidos em álcoois superiores.

O metabolismo das leveduras requer ainda a presença de sais minerais para seu perfeito desempenho.

Um dos elementos mais importantes no metabolismo dos carboidratos é o fósforo, relacionado como o mecanismo de acúmulo, transferência e liberação de energia, através das ligações fosfóricas de alto nível energético.

Outros elementos importantes são o enxofre, o ferro, o magnésio, o cálcio, o potássio, o manganês, o zinco, o cobre, que participam como constituintes de proteínas, enzimas ou como catalisadores de reações durante a fermentação. Salienta-se ainda que a adição de vitaminas ao mosto, principalmente as do grupo B, podem acelerar o curso das fermentações embora as leveduras sejam capazes, na maioria das vezes, de produzir as vitaminas de que necessitam.

3.3. Preparo do mosto

Mosto é o termo empregado em tecnologia para definir um líquido açucarado passível de ser fermentado. O caldo misto se enquadra dentro das características de mosto, enquanto que o melaço “in natura” requer uma preparação adequada para condicioná-lo às exigências do agente da fermentação alcoólica.

No preparo dos mostos, cuidados devem ser tomados quanto a concentração de açúcares totais e a sua relação com os sólidos solúveis, acidez total e pH, sendo que em determinadas condições pode ser necessária a suplementação com nutrientes, a adição de anti-sépticos, o aumento da temperatura, a fim de se obter rendimentos satisfatórios.

O preparo do mosto de melaço é simples, restando-se em uma correção dos sólidos solúveis e, conseqüentemente de açúcares totais através de diluição, enquanto que no caldo deve-se evitar a diluição, considerando que normalmente o caldo não apresenta valores elevados de açúcares totais pelas próprias limitações da cana e da embebição durante a extração. A concentração do caldo em pré-evaporadores (20-21 brix) ou mesmo, em evaporadores (xarope) eleva o teor de açúcar total do mosto e, conseqüentemente, o grau alcoólico do vinho.

A suplementação em nitrogênio e fósforo não tem sido necessária nas destilarias de álcool em decorrência dos teores destes elementos encontrados no caldo de cana.

A acidez e o pH têm papel importante nas fermentações, particularmente quanto à atividade ótima das leveduras em meio ácido (pH 4,5-5,0) e o controle dos contaminantes que atuam na faixa próxima da neutralidade. O uso de anti-sépticos tem o objetivo de controlar os contaminantes. O ácido sulfúrico tem se mostrado o melhor controlador das contaminações. As leveduras desempenham melhor sua atividade à temperatura de 32 a 34° C. Assim as temperaturas baixas, especialmente de início de safra, devem ser corrigidas para se garantir uma boa produtividade já que abaixo de 30° C na dorna, a fermentação tende a se prolongar por muito tempo, diminuindo a produtividade.

O caldo bruto deve sofrer um tratamento térmico visando, a eliminação dos microrganismos contaminantes e a sua desproteinização, de maneira a reduzir a formação de espumas durante o processo fermentativo. Este tratamento, em síntese, consiste em um aquecimento do caldo (105°C) e remoção das impurezas por decantação e

resfriamento até a temperatura de 30°C antes da fermentação, conforme anteriormente descrito.

3.4. Preparo de fermento

Os mostos preparados industrialmente devem ser inoculados com as leveduras, que são os microrganismos responsáveis pela fermentação alcoólica.

Para que as fermentações tenham uma condução satisfatória é necessário que se adicione aos mostos uma quantidade compatível de microrganismos capazes de desdobrar em tempo hábil os açúcares em álcool e gás carbônico, sendo esta suspensão de células de leveduras denominada de “fermento”, “pé de cuba” ou “starter”.

Estes “fermentos” ou “pés-de-cuba” ou “starters” são o inóculo inicial. Na grande maioria das destilarias brasileiras é empregado como inóculo inicial o fermento prensado de panificação, dada a possibilidade de compra da quantidade inicialmente necessária, evitando-se a operação de multiplicação e seus riscos, traduzindo-se principalmente em economia de tempo. Este tipo de inoculação é chamado de "partida direta".

Já no caso da utilização de cultura pura, é requerido da indústria um melhor nível tecnológico, pois à partir de gramas de levedura seca viva ou acondicionada em tubos de cultura, deve-se produzir através de fermentações sucessivas em volumes de substrato crescentes, a quantidade inicial necessária, comumente na ordem de grandeza de toneladas.

3.5. Condução da fermentação alcoólica

Uma vez preparados o fermento e o mosto, ambos serão misturados nas dornas de fermentação, ocasião em que as leveduras irão, de modo gradativo, converter os açúcares em gás carbônico e álcool, sendo este último o objetivo desse processo industrial.

A adição do mosto ao fermento deverá ser realizada de modo contínuo, sendo que a vazão de alimentação será controlada através do grau brix da mistura, sendo conduzida em vazão decrescente com o tempo e o brix da dorna controlado para que a fermentação não sofra inibição temporária pela excessiva concentração de açúcares.

3.5.1. Fases da fermentação alcóolica

O processo industrial de fermentação alcóolica pode ser dividido em três fases distintas, embora não haja rigidez em seus limites: fermentação preliminar ou pré-fermentação, fermentação principal ou tumultuosa e fermentação complementar ou pós-fermentação.

A fermentação preliminar existe quando o processo está em início de safra e inicia-se ao ser adicionado o mosto ao levedo. Quando o inóculo é pequeno esta fase caracteriza-se pela multiplicação das leveduras, com consequente consumo de açúcares e a lenta produção de álcool, assim como a elevação da temperatura, sendo também pequeno o desprendimento de CO₂. Desse modo, convém reduzi-la ao mínimo, o que se consegue empregando-se uma maior massa celular e leveduras de rápida multiplicação, já que o processo de produção de álcool requer alta produtividade.

Com o aumento da produção de álcool, evidenciado pelo desprendimento de gás carbônico, tem-se o final daquela fase, iniciando-se a fermentação principal ou tumultuosa. Suas principais características são: intensa produção de álcool e desprendimento de CO₂; elevação da temperatura, a qual deve ser controlada por resfriamento; progressivo aumento de espumas; elevação da acidez do mosto.

A fermentação principal cessa quando diminui o desprendimento de gás e conseqüentemente a turbulência característica do mosto.

Na pós-fermentação verifica-se a diminuição da temperatura do vinho, elevação da acidez e a diminuição da viabilidade das células de levedura pela ação do acúmulo de seus metabólitos, do esgotamento dos carboidratos e das toxinas dos contaminantes.

Esta fase deve ser evitada na produção industrial de etanol pois, além destes efeitos maléficos relatados, representa dispêndio de tempo com capacidade ociosa das dornas, devendo-se então processar o vinho assim que se encerre a fase tumultuosa.

3.5.2. Processos industriais de condução da fermentação

As fermentações industriais podem ser classificadas segundo os regimes de alimentação das dornas e do desenvolvimento da fermentação, em processos contínuos e descontínuos (batelada).

Uma segunda classificação refere-se a reutilização da massa microbiana produzida, se reaproveitada ou não na fermentação posterior; são os processos com reciclo e sem reciclo de células, respectivamente.

A maioria das instalações produtoras no País fermenta o mosto em regime de batelada alimentada com reciclo de células, observando-se atualmente o aumento na utilização de sistemas contínuos, também com reciclo, em decorrência de vantagens e de circunstâncias descritas a seguir.

3.5.2.1. Processos descontínuos

São os processos intermitentes, denominados batelada simples ou batelada alimentada.

Na batelada simples a fermentação só tem início após o preenchimento do fermentador, ocasião em que se mistura o mosto com o fermento. Isto só é possível em condições de pequenas quantidades de mosto, tendo seu uso restrito às fermentações laboratoriais e farmacêuticas, dado pela capacidade de produção de mosto. Na produção industrial de etanol, o dispêndio de tempo para o abastecimento da dorna significa perda de produtividade e aumento de perdas por deterioração microbiana do mosto.

Assim, na batelada alimentada, aproveita-se este tempo de enchimento com a fermentação misturando-se o mosto ao fermento conforme a dorna vai sendo abastecida. Trata-se portanto de um método mais produtivo e expõe as leveduras a menores riscos de choque osmótico que no processo de batelada simples.

3.5.2.2. Processos contínuos

Os processos contínuos vêm sendo pesquisados a cerca de 30 a 40 anos no país, entretanto, somente a pouco mais de 15 anos em caráter industrial.

Os primeiros processos foram sistemas de dornas ligadas em série, com número e dimensões variadas, em cascata, onde as primeiras dornas continham cerca de 70% do volume total em fermentação, utilizando-se 2 a 4 dornas finais para a complementação da fermentação. A última dorna sempre foi como uma dorna de segurança a fim de conter as possíveis perdas de ART em função das variações de processo.

No resfriamento do mosto geralmente utiliza-se sistemas trocadores de calor a placas, externos à dorna, convenientemente colocados para promover resfriamento e agitação simultaneamente.

Como nos processos descontínuos alimentados, o vinho resultante da fermentação é centrifugado e o leite de leveduras levado ao tratamento ácido, também em cascata e contínuo, com os mesmos objetivos já relatados anteriormente. A recirculação do fermento tratado auxilia a manutenção de um pH mais baixo na fermentação, auxiliando assim a controlar o nível de infecção.

A evolução dos processos e dos conhecimentos cinéticos da fermentação, têm auxiliado na otimização dos mesmos com redução dos volumes e do tempo de fermentação com ganhos em produtividade e por consequência de produção. O processo ainda se mantém em cascata, com melhoramento nos sistemas de agitação, tornando-os agitados ou homogêneos e com diferenciado traçado geométrico das dornas e com variação no número de estágios ou dornas.

O reciclo de células permite aumento de vazão específica de alimentação e o conveniente tratamento de caldo conduz a sistemas de agitação mais perfeitos sem preocupação de desgaste de centrífugas nem deposição de impurezas em fundo de dornas.

Os processos em única dorna ou estágio, em torre com fermento floculante, com fermentação extrativa, com separação de etanol por membranas, sob vácuo, e outros, foram processos estudados em planta piloto, alguns em caráter industrial, mas a maioria ficou como projetos potenciais.

Na figura 4 é mostrado um fluxograma do processo de fermentação contínua.

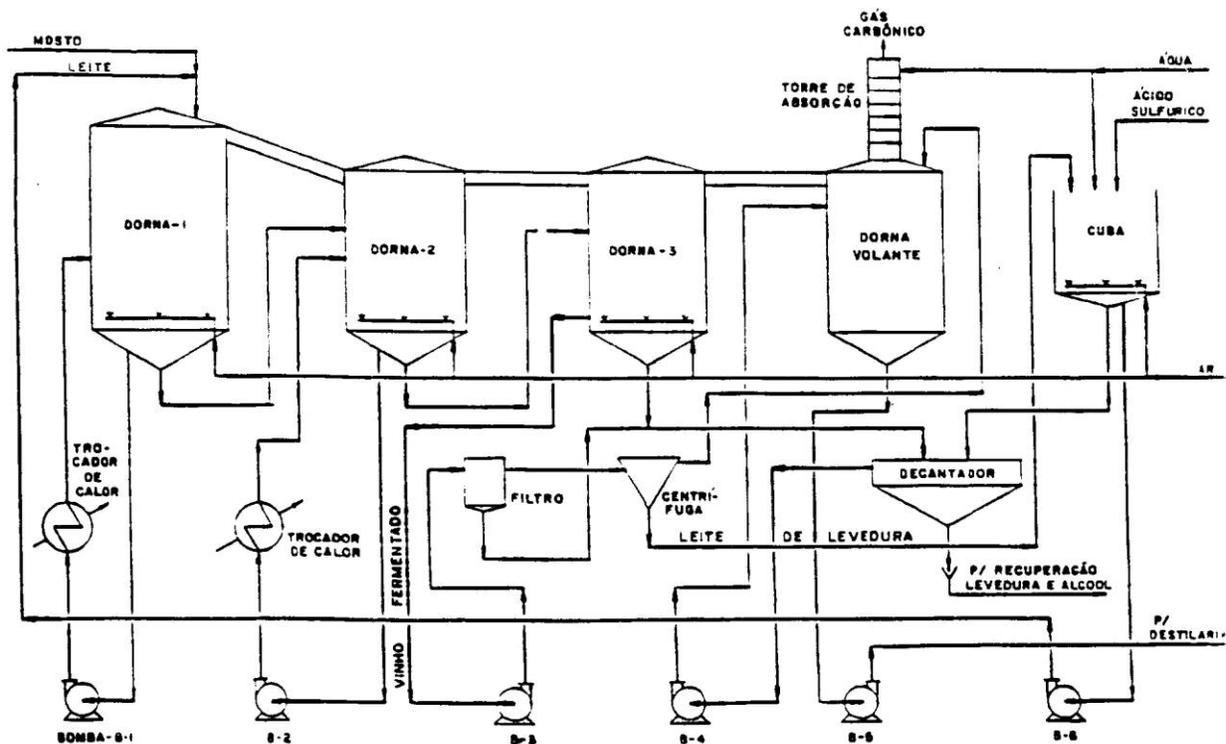


Figura 4 - Fluxograma do processo de fermentação contínua

Admite-se como vantagens na condução dos processos contínuos:

- rendimento igual ao Melle-Boinot;
- maior produtividade;
- menor volume de dornas, redução de equipamentos em geral;
- amplas possibilidades de total automação ou grande parte automatizadas e informatizadas;
- redução ampla de operações como limpeza, enchimento, esvaziamento, transferência de fermento resultando em redução de mão-de-obra e de tempo de operação;
- redução no consumo de insumos de uma maneira geral;
- é um avanço tecnológico;

Como possíveis desvantagens poderíamos citar:

- o processo exige uma indústria que possua um adequado sistema de tratamento de caldo para a destilaria ou que trabalhe apenas com diluição de xarope e méis para

garantir a homogeneidade de mosto, uma vez que o processo possui dimensionamento crítico e adapta-se à faixas estreitas de variações de mosto;

- um bom gerenciamento dos processos e sistemas anteriores a fermentação para que possam manter fluxos e qualidade estáveis ao processo.

3.5.3. Recuperação do fermento

A recuperação de células de levedura para sua reciclagem no processo fermentativo pode se dar por decantação, característica em pequenas instalações produtoras de aguardente, ou por centrifugação (processo Melle-Boinot).

A decantação consiste na espera da precipitação natural das leveduras após a fermentação, facilitada pela menor densidade do meio e por não haver mais turbulência decorrente da evolução de CO₂. Após a decantação, o vinho sobrenadante é enviado à destilação e ao fermento decantado é adicionado novo mosto para que se processe uma nova rodada. Não se trata de método empregado industrialmente por apresentar desvantagens, tais como:

- O tempo necessário para a decantação representa capacidade ociosa de dornas e pode diminuir a viabilidade do fermento peça maior exposição à metabólitos tóxicos da própria levedura e dos contaminantes;
- dificuldade de diluição, de lavagem e de tratamento ácido ou descontaminante.

O processo Melle-Boinot é caracterizado pela recuperação de células por centrifugação.

Tão logo se esgotem os açúcares do mosto em fermentação, o vinho é bombeado da dorna para a centrífuga separadora, onde ocorre a separação: de um lado o leite de levedura e, de outro, o vinho delevurado. Este é recebido em uma dorna de espera ou volante, de onde seguirá para a destilação.

O leite de leveduras, com uma concentração celular de 50 a 70% em volume, é encaminhado para uma cuba de tratamento, onde será diluído com água na proporção possível de leite de levedura + água. Após a homogeneização será tratado com ácido sulfúrico concentrado até pH entre 2,5 e 2,8 por 2 a 3 horas. O tratamento ácido provoca a latência das bactérias lácticas, a redução de parte dos contaminantes, promove a limpeza química da superfície celular das leveduras melhorando a absorção de nutrientes e ajuda a manter mais baixo o pH da fermentação posterior reduzindo os efeitos da

contaminação bacteriana. Decorrido este período, o lêvedo é enviado à dorna de fermentação juntamente com o mosto, iniciando-se um novo ciclo do processo.

Na figura 5 é mostrado um esquema geral do processo de fermentação Melle-Boinot.

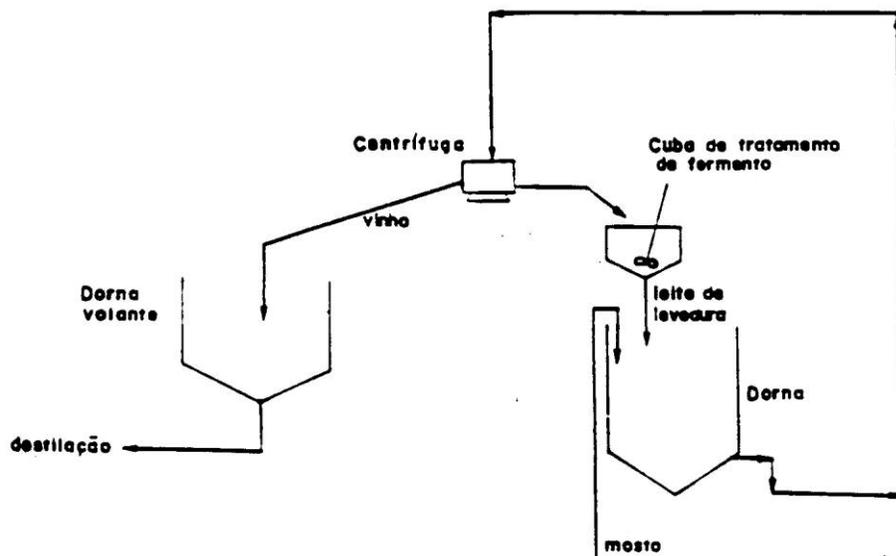


Figura 5 - Esquema geral do processo de fermentação Melle-Boinot

As principais vantagens deste processo são:

- elevado rendimento alcoólico;
- maior rapidez da fermentação pelo maior teor de levedo recuperado;
- álcool de melhor qualidade em consequência;
- diminuição da contaminação bacteriana;
- menos incrustações nos aparelhos de destilação pela retenção do material orgânico pela centrifugações.

3.6. Processos contaminantes da fermentação alcóolica

Em condições adequadas de anaerobiose, temperatura, pH, concentração de açúcares, etc, da fermentação alcoólica resultam álcool etílico e gás carbônico, como produtos principais.

Mas se não forem observados cuidados mínimos quanto à qualidade da matéria prima, pureza do fermento, controle de pH e da temperatura, limpeza dos equipamentos entre outras, pode ocorrer o desenvolvimento de microrganismos, como bactérias, que produzem fermentações indesejáveis, das quais resultam substâncias estranhas à fermentação alcóolica. Estas fermentações concorrem para a diminuição do rendimento alcóolico, além de produzirem substâncias indesejáveis, nocivas ao fermento e à qualidade final do produto pela dificuldade de separação destes elementos na destilação ou pela redução do rendimento da destilação pelo maior sacrifício de parte do álcool.

Entre estas fermentações destaca-se a fermentação láctica, cuja origem está na qualidade da matéria prima e cujo microrganismo é termodúrico e resistente a acidez, sendo o grupo de maior freqüência na fermentação alcoólica de cana-de-açúcar e derivados.

Algumas medidas para dificultar a ocorrência destas infecções:

- matéria prima de qualidade;
- correto tratamento do caldo e preparo do mosto;
- quantidade e qualidade adequadas do fermento;
- condução controlada da fermentação;
- uso correto de anti-sépticos e antibióticos.

3.7. Parâmetros de controle da fermentação alcóolica

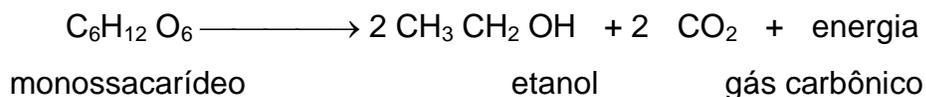
Para que seja possível a avaliação e o controle do processo fermentativo, é necessário o acompanhamento deste através de parâmetros que traduzam em números a situação vivenciada pela indústria.

São eles:

- Eficiência de fermentação ($\eta_P(\%)$), imprescindível para uma indústria que trabalha em bases racionais e econômicas. Para tal, são necessárias determinações quantitativas dos açúcares totais do mosto, expressos em açúcares redutores totais, e do teor alcóolico do vinho, pois no rendimento de uma fermentação relaciona-se o álcool produzido com

aquele teórico que deveria ser produzido, em função do teor de açúcares totais existentes no mosto, sendo o rendimento teórico (Y_t) (Gay-Lussac):

Segundo a equação de Gay-Lussac para a fermentação alcoólica, tem-se:

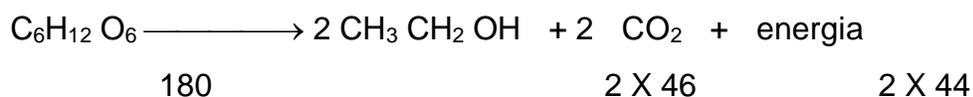


Todavia, no final do processo fermentativo são encontrados outras substâncias que se constituem em produtos intermediários das diversas cadeias de reações, além de outras colaterais, devidas ao metabolismo dos microrganismos presentes. Tais substâncias são formadas às custas dos açúcares do mosto, que também são consumidos na formação do protoplasma celular, além do próprio álcool.

Além disso, na prática industrial há perdas de álcool por evaporação, projeção, esterificação e oxidação.

Por tudo isso é que se denomina rendimento ideal aquele expresso pela equação de Gay-Lussac, que não leva em considerações nenhum desses fatores.

O cálculo do rendimento ideal em álcool etílico a partir de ART é dado em sequência:



180 gramas de ART -----92 gramas de etanol

100 gramas ----- x gramas

$x = 51,11$ gramas ou $51,11 / 0,78932 = 64,75$ mL de etanol a 20° C
0,78932 = densidade do etanol a 20° C

Portanto: $Y_t = 51,11$ gramas ou 64,75 mL de etanol a 20 °C por 100g de ART

Já o rendimento prático (Y_P) é o conseguido na prática industrial da fermentação. Trata-se da quantidade de etanol obtida a partir de 100 g de ART fornecido no mosto. O seu cálculo envolve a determinação da massa de ART fornecida à dorna e da massa de etanol produzida:

Rendimento prático $Y_t = (\text{g de etanol obtidos no vinho} / \text{g de ART fornecido}) \times 100$

O processo industrial de fermentação será tanto mais eficiente quanto mais se aproximar do rendimento ideal de Gay-Lussac. Assim, define-se eficiência de fermentação como sendo a relação percentual existente entre os rendimentos prático e teórico:

$$\eta_{P(\%)} = (Y_P/Y_t) \times 100$$

- Produtividade de fermentação (PR), que expressa a velocidade com que o etanol é produzido, relacionando sua concentração no vinho pela unidade de tempo:

$$PR (\text{g de etanol} \cdot \text{L de vinho}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{\text{concentração de etanol no vinho (g.L}^{-1}\text{)}}{\text{tempo de fermentação (h)}}$$

- Atenuação de brix, que é a forma mais simples de se avaliar o desenvolvimento da fermentação, pelo acompanhamento da atenuação do brix areométrico do mosto em fermentação.

Assim é que, nas fermentações normais, à medida em que ela se desenvolve, o brix cai rapidamente no início, após enchimento da dorna e mais lentamente quando se aproxima do final da fermentação. O término é caracterizado pela dupla leitura coincidente em dois horários de amostragem subsequentes. Um maior tempo para a atenuação do brix pode ser indicador de problemas com a fermentação.

- Temperatura

À medida que a fermentação se processa, a temperatura vai se elevando, atingindo os valores máximos na fase mais ativa da fermentação, para depois decrescer, tendendo à do ambiente.

A temperatura ideal oscila entre 32 e 35 °C. Temperaturas inferiores a 30 °C produzem queda de velocidade e portanto de produtividade podendo mesmo levar à paralisação da fermentação. Temperaturas muito elevadas potencializam a ação dos metabólitos tóxicos e a contaminação bacteriana, devendo portanto ser controlada pôr resfriamento das dornas.

- Tempo de fermentação

Em média, mostos de caldo de cana e de melaço devem fermentar em 6 a 8 horas, no caso de destilarias de álcool. Um maior tempo pode indicar problemas fermentativos decorrentes de contaminação, de queda de viabilidade do fermento ou inóculo insuficiente.

- Açúcares residuais

Desde que o levedo alcóolico e o mosto tenham sido devidamente preparados e a fermentação transcorra normalmente, o vinho não deverá apresentar açúcares residuais. Entretanto, quando se dosam os açúcares redutores no vinho, é possível encontrar-se um certo teor dos mesmos devido à presença de substâncias redutoras infermentescíveis, principalmente quando se utiliza grandes proporções de melaço.

A produtividade e a eficiência de fermentação consistem os mais precisos parâmetros para o julgamento de uma fermentação alcóolica visto que, indiretamente, inclui todos os demais anteriormente comentados.

Um bom rendimento da fermentação deve atingir um valor ordem de 90-92% do rendimento ideal.

4. DESTILAÇÃO

O vinho resultante da fermentação do mosto possui uma composição complexa, com constituintes da natureza líquida, sólida e gasosa. Do ponto de vista de volatilidade, as substâncias componentes do vinho podem ser dispostas em dois grupos: voláteis e fixas. As voláteis são representadas pelo álcool etílico, água, aldeídos, álcoois superiores, ácido acético e por muitas outras, enquanto que as fixas, pelo extrato do mosto, células de leveduras e de bactérias, etc. Para a separação do álcool dos demais componentes do vinho empregam-se várias destilações especiais, operações estas baseadas na diferença do ponto de ebulição das substâncias voláteis.

A primeira operação de destilação é a epuração do vinho, fase que consiste na purificação do mesmo, com a eliminação parcial das impurezas de cabeça, como aldeídos e esterres. Esta operação é realizada em A1 - coluna de epuração -, de onde resultam o vinho epurado e um fração denominada de álcool bruto, de segunda ou de cabeça, caracterizado por uma mistura hidroalcoólica impura de riqueza alcoólica da ordem de 88,0° INPM (porcentagem de álcool em peso a 20° C).

Na figura 6 é mostrado um esquema de uma coluna de destilação.

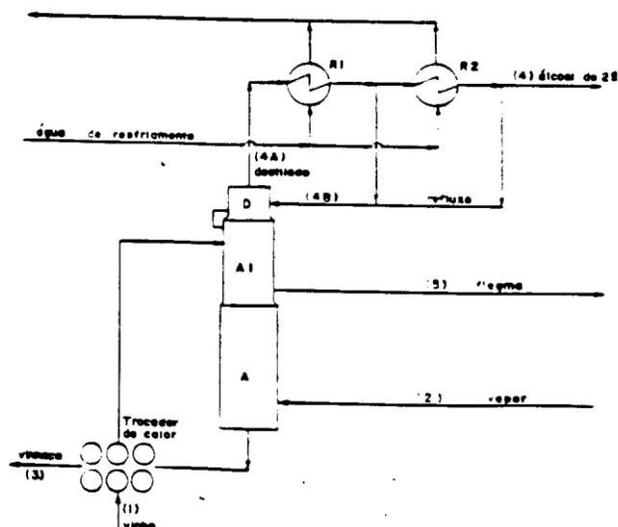


Figura 6 - Esquema de uma coluna de destilação típica

O vinho epurado é em seguida submetido a uma nova destilação, em uma coluna de destilação - A - ou de esgotamento, de onde resultam duas frações: o flegma- produto

principal da destilação constituído por uma mistura hidroalcoólica impura, com 45-50 ° GL - e a vinhaça - resíduo aquoso de destilação de vinho - onde se acumulam as substâncias fixas do vinho e parte das voláteis. Na produção de aguardente em aparelhos de destilação contínua (colunas), não se utiliza a epuração do vinho, havendo apenas como resultado da destilação a aguardente - flegma com 38 a 54° GL (porcentagem de álcool em volume a 15° C) e a vinhaça.

O fluxograma simplificado de um conjunto de destilação é mostrado na figura 7.

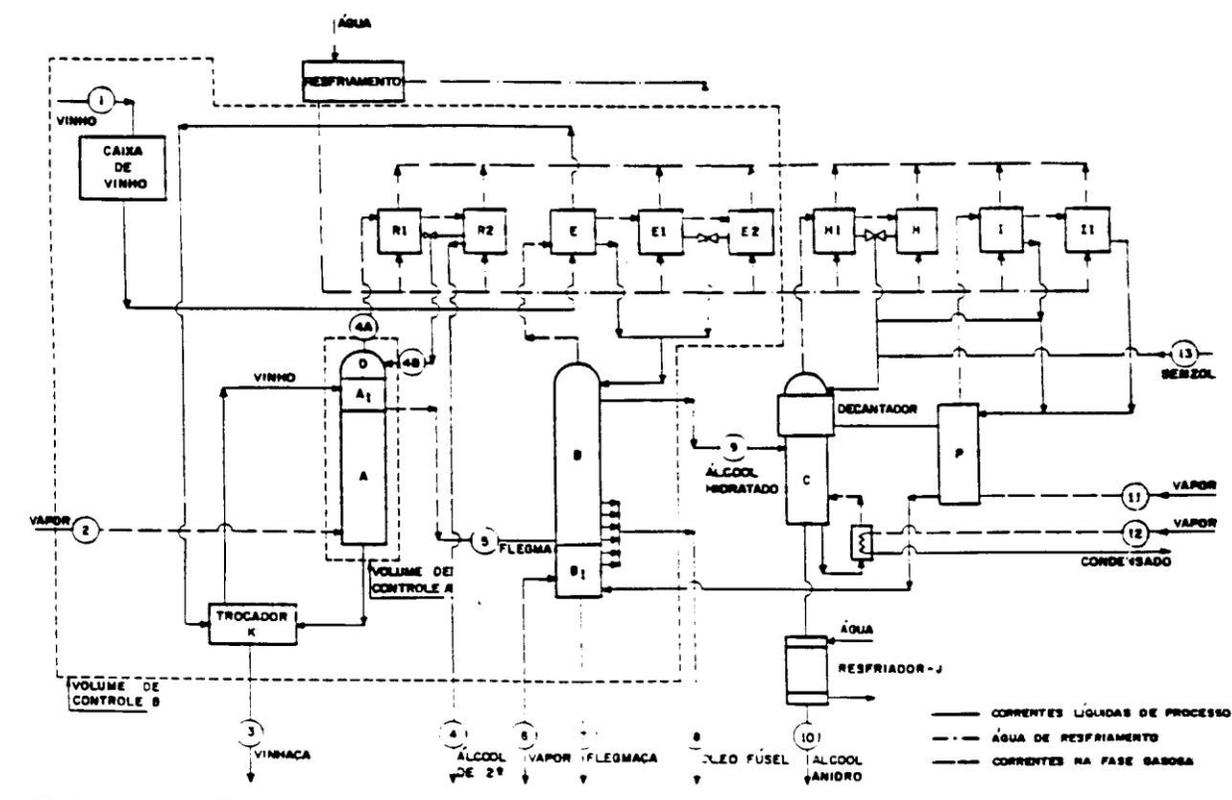


Figura 7 - Fluxograma simplificado de um conjunto de destilação

5. RETIFICAÇÃO

O produto da destilação do vinho é sempre uma mistura hidroalcoólica, impura, onde se concentram grande parte das substâncias voláteis que se encontram no vinho. Estas impurezas que acompanham o álcool no flegma são álcoois homólogos superiores, aldeídos, esterres, ácidos, etc.

Para a obtenção de um álcool tanto quanto possível puro, livre destas substâncias indesejáveis, o flegma é submetido a uma destilação especial, denominada retificação, efetuada em uma coluna retificadora - B/B1 -, onde uma complexa operação de purificação e concentração é realizada.

O produto principal da retificação é o álcool hidratado ou retificado - mistura hidroalcoólica de elevada pureza, com teores alcóolicos que dependem da finalidade do álcool. Assim na produção do álcool hidratado carburante o teor mínimo é de 92,6° INPM enquanto que para o retificado industrial é de 93,8 ° INPM. Resultam três outras frações: flegmaça- resíduo aquoso da retificação do flegma; óleo fúsel - mistura concentrada das impurezas do flegma, e o álcool bruto ou de segunda.

A retificação por si é limitada quanto à máxima concentração de álcool possível de ser atingida ou seja 96-97% nos aparelhos convencionais, devido a formação de uma mistura homogênea entre água e o álcool, com ponto de ebulição constante e inferior que os componentes da mistura azeotrópica. Assim, toda vez que o líquido de um prato numa coluna de destilação atingir a concentração do azeótropo, a mistura se comporta como uma substância pura gerando vapores de mesma composição que o líquido gerador, impedindo daí para a frente que se consiga separar ou concentrar mais o álcool.

A legislação brasileira estipula a comercialização do álcool em % em peso à 20° C, sendo INPM o significado de Instituto Nacional de Pesos e Medidas.

Por isto, 93,8° INPM equivale a 96° GL ou 96% em volume, a 20° C.

6. DESIDRATAÇÃO

Para se obter álcool anidro ou desidratado, com um teor alcoólico variando de 99,3 a 99,8 ° INPM, é necessário introduzir aos processos normais de destilação um artifício que propicie o fracionamento da mistura azeotrópica, de modo a alterar a sua composição.

Os processos físico-químicos que deslocam ou mesmo suprimem o ponto de azeotropismo são os mais recomendados, com por exemplo o conhecido processo do benzol, que é uma substância utilizada para a desidratação do álcool retificado, hoje sendo substituída pelo ciclohexano e futuramente pela peneira molecular. Neste processo, o álcool retificado é conduzido à coluna de desidratação juntamente com o ciclohexano, onde ocorre uma combinação com o álcool hidratado que por ser uma mistura azeotrópica álcool-água-ciclohexano, evapora e é conduzida aos condensadores e destes ao conjunto recuperador de álcool e desidratante, constituído de decantadores e de uma coluna de recuperação, sendo as substâncias reconduzidas ao processo e a água eliminada através do reciclo na coluna de retificação, na forma de flegmaça.

7.SUBPRODUTOS DA AGROINDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR

O aproveitamento racional dos subprodutos constitui-se uma fonte adicional de renda, sem contar os benefícios causados, por exemplo, pela vinhaça em adubação e do bagaço na geração de vapor.

Dentre os subprodutos e resíduos da agroindústria, destacam-se:

- Bagaço, que é o resíduo fibroso da extração do caldo pelas moendas. A quantidade produzida é função do teor de fibra da cana de açúcar processada, apresentando em média 46% de fibra e 50% de umidade, resultando aproximadamente 280 Kg/tonelada de cana processada. Pela proporção em que é produzido e devido a sua composição, o bagaço se constitui em um subproduto dos mais importantes para a indústria sucro-alcooleira.

As principais aplicações do bagaço são: combustível para caldeira, produção de celulose, de furfural e confinamento de gado.

- Torta de filtro, que é o resíduo da filtração mecânica do lodo na fabricação do açúcar e também na do álcool direto, quando o caldo é submetido a um tratamento.

A torta é produzida na proporção de 20-40 Kg/tonelada de cana, apresentando , em média, 75% de umidade.

Atualmente, no Brasil, a torta de filtro encontra aplicação como fertilizante, devido a sua riqueza , especialmente em matéria orgânica e nutrientes.

- Melaço (ou mel final), que constitui o principal subproduto da indústria do açúcar, sendo produzido na proporção de 40 a 60 Kg/ tonelada de cana processada. A composição de larga aplicação devido ao elevado número de produtos que podem ser obtidos da sua composição.

No Brasil, devido ao elevado teor de açúcares totais e demais componente, o melaço tem como principal aplicação a fabricação do álcool etílico, sendo aproveitado também em outros processos biotecnológicos como matéria-prima para a produção de proteína, rações, levedura prensada para panificação, antibióticos, dentre outros produtos.

- Vinhaça, que é o resíduo da destilação do vinho. A sua produção é normalmente relacionada com a de álcool, variando na proporção de 12-18 litros de vinhaça/litro de álcool, na dependência da natureza da matéria-prima processada. A composição da vinhaça varia em função da natureza e composição da matéria prima e do mosto, e da condução do aparelho de destilação.

Dentre as principais aplicações tecnicamente cogitadas, como alimentação de animais, produção de proteínas (biomassa), produção de metano e fertilização de solos, atualmente esta última tem sido mais utilizada.

- Óleo de fúsel, que consiste numa fração extraída na coluna retificadora, sendo constituída de álcoois (álcool etílico e homólogos superiores), furfural, aldeídos, ácidos graxos, etc. O óleo fúsel é produzido na proporção de 0,05 a 0,20 litros por 100 litros de álcool, apresentando uma composição variável em função da natureza e qualidade da matéria-prima, bem como da qualidade do álcool produzido. O principal componente é o álcool isoamílico que aparece com 60-80% do óleo fúsel.

O óleo fúsel em bruto se constitui em matéria-prima para processamento de refinação, de onde se extraem álcoois com diversos graus de pureza e para obtenção de outras substâncias químicas, como por exemplo, solventes.

- Álcool bruto, obtido na epuração dos vinhos e purificação dos flegmas, sendo constituído por uma mistura hidroalcoólica impura, especialmente aldeídos e ésteres. O álcool bruto é produzido na proporção de 1 a 5 litros/100 litros de álcool, em função da natureza da matéria prima, da qualidade do álcool a ser produzido e das condições operacionais do aparelho de destilação. Em condições normais, parte do álcool bruto extraído do aparelho retorna ao processo e parte é enviado aos depósitos. O álcool bruto encontra aplicação na produção de álcoois retificados extra-fino e neutro, passando por processos especiais de retificação, sendo também empregado como combustível.

- Levedura seca, obtida da secagem de uma parte do leite de levedura sangrado no processo de condução da fermentação e que excede à concentração de 10 a 12% no vinho em processo.

O leite de levedura é submetido a uma lavagem e nova centrifugação, sendo em seguida encaminhado a um autolisador e daí para o secador. Do secador, com cerca de 8% de umidade é conduzido a um moinho de martelos, sendo a farinha acondicionada em

sacos multifolheados de papel com proteção interna de película plástica, dada a sua higroscopicidade.

A levedura seca que é produzida na proporção de 2,5 Kg/100 litros de álcool, encerra em sua composição 35% de proteína e alto teor de vitaminas do complexo B, encontrando aplicação especialmente na composição de rações animais.

8. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

CAMARGO, C.A. (coord.) **Conservação de energia na indústria de açúcar e do álcool.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas(IPT), 1990. 796p.

Copersucar. **Fermentação.** 1987. 434p.

Copersucar. **Destilação.** 1987. 507p.

MAIORELLA, B. ; WILKE, R. ; BLANCK , H.W. Alcohol Production and Recovery. **Advances in Biochemical Engineering**, v.20 , 1981, p. 44-92.

MARQUES, A.; HORII, J. LCT 458 - **Tecnologia Sucroalcooleira Básica.** Piracicaba: ESALQ/ Depto. Ciência e Tecnologia Agroindustrial, v.2, 1997. 36p.

PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar, cultivo e utilização.** Campina: Fundação Cargill, v.2, 1997. 856p.

PRAVE, P. ; FAUST, U. ; SITTIG, W. ; SUKATSCH, D.A. **Fundamentals of biotechnology.** New York, VCH, 1987. 792p.