

ROCHA LIMA, L. *Industrialização do álcool etílico no Brasil – síntese de algumas opções*. Curitiba: [s.n.], 1975. 55 p.

ROCHA LIMA, L. *Álcool carburante, alternativa para crise energética brasileira*. Curitiba: [s.n.], 1976. Relatório técnico, 65 p.

ROCHA LIMA, L. Opções brasileiras para a industrialização do álcool etílico. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, Curitiba, n. 58, 1977.

TRATAMENTOS PRELIMINARES DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

Colheita manual da cana

A cana-de-açúcar, após sua maturação, é colhida nos canaviais, seja manualmente ou com auxílio de colheitadeira mecanizada. A colheita manual envolve um tratamento prévio do canavial para facilitar a sua colheita, o que é feito inicialmente com despalhamento (retirada manual das folhas velhas da cana) ou queima das mesmas no canavial. Esta tarefa tem a finalidade de facilitar o corte manual da cana.

A prática agrícola de despalhar a cana manualmente está perdendo a adesão a cada dia, devido a escassez da mão-de-obra. A adoção da queima do canavial, com o mesmo objetivo de facilitar o corte, faz-se quase que obrigatória.

A operação de despalhar manualmente consiste no corte e remoção das palhas do colmo, com auxílio do podão. Essa operação é muito demorada e reduz sensivelmente o rendimento do operário. Desta forma, as usinas adotam o critério da queima das palhas antes do corte. Hoje, adota-se a técnica da queima em muitas regiões açucareiras do

mundo. É uma técnica consolidada em nosso país, uma prática normal em todas as regiões canavieiras do Estado de São Paulo, Paraná e em todo Brasil. A operação da queima é realizada tomando-se certas precauções para evitar a propagação do fogo além do necessário. O limite das áreas de queima é normalmente preestabelecido com proteção pelos carreadores (ruas internas nos canaviais) e aceiros. A queima é conduzida quando há pouco vento para se evitar a propagação do fogo nos talhões vizinhos. Geralmente, os canaviais mantêm homens especializados na queima, que procedem toda tarefa com muita precaução.

Essa prática é discutida pelos técnicos, alguns condenam outros aconselham dizendo que a queima elimina parcialmente certas pragas, como a cigarrinha, brocas e, até mesmo, cobras, dando maior segurança aos cortadores. Sabe-se que a cana não é prejudicada pela queima. Recomenda-se que esta somente se faça de acordo com a necessidade diária da usina, programando-se a queima, a colheita e a moagem para se evitar a deterioração da cana. Desse modo, é importante que o processamento industrial da cana queimada seja realizado o mais rapidamente possível, dentro do menor espaço de tempo, desde o momento da queima até a moagem.

No processamento industrial da cana queimada para produção do açúcar, literaturas ressaltam aspectos negativos à sua industrialização, visto que certas mudanças podem acontecer em sua composição, devido as altas temperaturas a que ela é submetida; assim, durante o processo de clarificação do açúcar, o caldo oriundo de cana queimada produz mais lodo e consome uma maior quantidade de cal, na ordem de 10 a 15%, causando ainda alteração na sua coloração final.

Na produção do álcool, recomenda-se que a cana queimada seja processada num prazo máximo de 24 horas.

A colheita manual é, ainda, no Brasil, o sistema dominante. Nesta operação, o operário despalha o colmo e, em seguida, corta-o nas suas extremidades, com auxílio de um facão ou "podão de cana".

A despalha manual, proporciona uma matéria-prima de melhor qualidade; contudo, hoje é rara, pelo encarecimento da mão-de-obra. Faz-se, então, a despalha a fogo que é, como se diz, "um mal necessário".

O corte da cana deve obedecer a certas técnicas quando este é feito na parte superior (ponta) e na parte inferior (base do colmo); a ponta deve ser cortada *na altura da primeira folha verde*.

A ponta tem baixo teor de sacarose e alto teor de gomas, sais etc. Já a base do colmo deve ser cortada o mais rente possível do solo para melhor aproveitamento da planta e, principalmente, para melhor brotação da soqueira e facilitação do combate a pragas.

O rendimento do trabalho de corte varia com a capacidade do operário, com a variedade da cana, com o sistema de despalha, com a topografia do terreno etc. O rendimento de produção, no corte com as canas queimadas, atinge até mais de 50% da média.

O trabalho de corte da cana vem sendo realizado pelos chamados *bóias-frias*, isto é, operários que são contratados para o trabalho no sistema de empreitada. Sendo adotadas várias formas de pagamento para esse serviço, o que varia de região para região.

O trabalho tem gerado uma série de problemas de ordem social, pois é realizado por homens e mulheres que não têm outra qualificação, nasceram e são criados nesse sistema de trabalho desde a juventude.

O rendimento do corte da cana no Brasil é muito baixo: um homem corta de 4 a 6 toneladas por dia, de dez horas. A operação seguinte ao corte é o denominado enfeixar, ou seja, fazer um feixe da cana cortada que consome um tempo de aproximadamente 30% sobre a operação total do corte, isto quando se tem um rendimento agrícola próximo de 70 toneladas por hectare.

Os feixes são amarrados pelos próprios cortadores, cada um pesa aproximadamente 15 quilos, contendo de 8 a 15 canas, de acordo com seu peso, sendo o rendimento de produção variável de 100 a 400 feixes por dia.

Já existem certas variedades de cana que perdem uma parte das folhas, quando maduras, facilitando a colheita manual.

Colheita mecanizada da cana

Devido a dificuldades surgidas com a mão-de-obra, está se iniciando, no Brasil, a colheita mecanizada. São vários tipos de colheitadeiras mecanizadas que estão surgindo, algumas inteiramente nacionais e outras adaptadas de modelos importados. A capacidade destas máquinas, em condições favoráveis de terreno, chega a até 70 toneladas por hora.

A colheita mecanizada está sendo introduzida cuidadosamente por várias destilarias e usinas de açúcar, mas sempre se mantém o corte manual.

A capacidade de trabalho dessas máquinas varia muito de terreno para terreno, de potência da marca etc., variando sua capacidade de 40 a, até mesmo, 80 toneladas por hora.

A colheita mecanizada oferece uma série de vantagens, tais como:

1. a cana praticamente não entra em contato com o solo, chegando, dessa forma, mais limpa às usinas;
2. aproveita melhor a capacidade útil do veículo de transporte por possuir maior densidade;
3. menor quantidade de cana é perdida durante o transporte;
4. obtém-se cana de melhor qualidade para a usina;
5. a cana não fica no campo quando ocorre interrupção da usina.

Como essas máquinas realizam uma série de operações de limpeza através de grades, ventiladores etc., o teor de impurezas da cana transportada é bastante reduzido e, muitas, vezes a lavagem da cana na usina é dispensável.

Se a lavagem da cana recebida na usina for total, a perda de açúcar pode atingir até 6 quilos por tonelada de cana tratada. Isto representa uma perda sensível no processo industrial.

Outro fator importante a ser observado é o tempo entre o corte e a moagem, seja cana de colheita manual como mecanizada, pois ela é altamente perecível após o corte, devido ao desenvolvimento de microorganismos.

Rendimento agrícola

O rendimento da cultura da cana no Brasil é ainda baixo, comparado com outras regiões do mundo. O rendimento médio nacional é da ordem de 60 a 65 toneladas por hectare. Em São Paulo e Paraná, a média atinge 70 a 75 toneladas por hectare.

Transporte da cana às usinas

O transporte da cana do campo às usinas/destilarias é tradicionalmente realizado em veículos especialmente projetados para o trabalho; a forma mais usual, na região sul do Brasil, é através de caminhões de fueiros, os quais transportam cana inteiras. A capacidade destes caminhões varia de 8 a 15 toneladas; algumas usinas adotam caminhões com carretas, com capacidade que pode atingir até 25 toneladas.

Um fator de muita importância nas usinas é a distância entre elas e o canal, ou seja, o custo do transporte deve ser analisado caso a caso. Logo que a cana chega às usinas, é pesada na entrada e os caminhões pesados novamente na saída, depois da descarga, conhecendo-se o peso líquido da carga. Usualmente, nas usinas, trabalham-se com duas balanças, uma destinada à pesagem do veículo carregado e outra para tirar a tara. As balanças geralmente tem capacidade para pesar de 20 a 30 toneladas e as mais modernas atingem até 50 toneladas, devido aos sistemas mais modernos de transporte. A pesagem da cana tem por objetivo o conhecimento de produção de corte, do rendimento agrícola e do rendimento industrial.

Descarregamento das canas nas usinas

São vários os tipos de descarga mecânica nas usinas os quais visam alimentar o sistema produtivo.

As canas chegam aos pátios das usinas em caminhões, carretas dos mais variados tipos e, até mesmo em vagões, devendo ser descarregadas, após a pesagem, diretamente nos sistemas receptores para ser encaminhadas à industrialização. A descarga pode ser manual em usinas de pequeno porte mecanizada, visando sempre a produtividade e os custos. São adotados guindastes rotativos, guindastes sustentados por cabos, guindastes auto-sustentáveis e vários outros tipos de guindastes e plataformas basculantes ou, ainda, o tombamento lateral do veículo com auxílio de plataformas hidráulicas.

Para a utilização deste sistema de descarga, os caminhões devem ser preparados, isto é, devem possuir uma das laterais articuladas, permitindo livre escoamento da cana por gravidade.

São muito utilizados também os caminhões com carrocerias basculantes, com pistões hidráulicos nos chassis que propiciam a inclinação da carroceria que pode ser lateral ou de topo.

Aprovisionamento da cana nas usinas

O sistema de trabalho nas usinas e destilarias é ininterrupto durante toda a safra, no período de 24 horas por dia. Mas, geralmente, o transporte é realizado somente no período diurno, havendo assim necessidade de armazenar uma certa quantidade de cana para moagem noturna, com relativa margem de segurança. A quantidade de cana a ser armazenada é em função da capacidade horária de moagem.

O dimensionamento do pátio de armazenagem deve ser feito cuidadosamente, sabendo-se que a densidade da cana varia de 150 a 300 quilos por m³. O pátio deve ser organizado de tal forma que as canas

que chegam em primeiro lugar, para provisionamento, sejam as primeiras a ser conduzidas para moagem, de modo a não haver sobras nos pátios, para se evitar perdas por fermentação da cana.

Problemas da estocagem da cana

A cana-de-açúcar é uma matéria-prima altamente perecível, sujeita a decomposição bioquímica e microbiológica após sua colheita. As modificações que ocorrem com as canas são devido a vários fatores: variedade da cana, estado de maturação, condições climáticas, estado de sanidade dos colmos, métodos de colheitas, geadas, ressecamento dos colmos, perdas por inversão e desenvolvimento de microrganismos.

Inversão da sacarose

A cana, após ser cortada, permanece com suas funções metabólicas em atividade e as reservas nutritivas são solicitadas, tais como processo de respiração, transformação dos açúcares devido a atividade das células vivas, dando lugar a gás carbônico e água.

Assim a sacarose sofre alterações por hidrólise, resultando glicose e frutose, diminuindo gradativamente o teor de sacarose.

A inversão da sacarose pode ocorrer devido a combinação de três fatores: acidez do caldo, temperatura e presença de invertase.

O tempo é fator predominante. Em alguns casos, a perda somente ocorre depois de 24 horas após o corte. Sabe-se que o caldo é um excelente meio para o desenvolvimento de microrganismos como leveduras, fungos e bactérias, que se desenvolvem com muita rapidez, às custas da sacarose.

Do que foi exposto, conclui-se que a cana deve ser moída o mais rapidamente possível, após o corte, evitando-se desse modo, a perda da sacarose. Deve-se programar com muito critério o armazenamento da cana, notadamente na época das chuvas.

Lavagem da cana

A lavagem da cana tem por finalidade reduzir as impurezas provenientes do campo, tais como resíduos de terra, e até mesmo fuligem resultantes da queima do canavial.

Deve-se considerar que a terra conduzida às usinas é proveniente do solo, geralmente rico em argila. A quantidade de impurezas contida nas canas varia de 8% a 12%, dependendo do período do corte.

No período chuvoso, o aumento das impurezas é sempre observado, atingindo até 15%. O caldo obtido com impurezas dificulta a clarificação, com aumento da inversão da sacarose, escurecimento do caldo e outras reações indesejáveis. Assim, a lavagem da cana antes da moagem torna-se quase que obrigatória.

O volume de água de lavagem é bastante variável: tem-se observado que, para lavagem razoável, o mínimo de água a ser utilizada deve ser de 4 a 6 metros cúbicos por tonelada de cana por hora (TCH).

Algumas usinas de produção de açúcar atingem até 12 a 15 metros cúbicos por TCH.

A água deve ser aplicada, sempre que possível, sob pressão, pois assim, aumenta o grau de eficiência no processo e, após a lavagem, deve ser tratada como efluente: fazendo peneiramento, floculação e decantação, reduzindo sensivelmente o teor de matéria orgânica. A lavagem pode ser realizada com água fria ou quente, aproveitando-se a água dos condensadores.

Preparo da cana para moagem

Após a lavagem da cana, a operação que segue é o da extração do caldo que se observa em duas etapas: a primeira consiste na desintegração do colmo e rompimento das células e a segunda, é o da extração do caldo.

O preparo da cana é necessário, uma vez que o caldo acha-se encerrado em células e somente o rompimento das mesmas permite a liberação mais eficiente, facilitando a moagem. Este processo é realizado com auxílio de facas rotativas e desintegradores.

Os principais objetivos do preparo da cana para moagem são os seguintes:

1. aumentar a capacidade das moendas pelo aumento da densidade da massa de alimentação, tornando-a compacta e homogênea;
2. romper a estrutura da cana, fazendo com que a extração do caldo pela moagem seja mais fácil e eficiente;
3. produzir um bagaço que, sob a ação da embebição, seja mais eficaz.

O preparo da cana poderá propiciar um aumento da capacidade das moendas da ordem de 10 a 30%, conforme o *lay-out* do sistema. Além disso, o preparo da cana repercute diretamente na extração do caldo, pois rompe a estrutura do colmo e torna mais fácil a liberação do caldo contido nas células.

O ganho no rendimento industrial com o preparo da cana é notório e observa-se:

1. aumento da capacidade da usina;
2. regularidade de alimentação das moendas e difusores;
3. redução do consumo de energia;
4. homogeneização do teor de fibra nos bagaços;
5. redução do desgaste e manutenção das moendas.

O ideal, nas usinas, é ter uma extração de 100%, o que na prática é impossível. Entretanto, onde a operação de preparo e moagem da cana são bem realizadas, a extração do caldo pode atingir de 90 a 95%. Em destilarias e usinas, onde estas operações não são bem observadas e controladas, dificilmente a extração do caldo da cana ultrapassa a 90%.

No preparo da cana utilizam-se, geralmente, os desintegradores, também conhecidos como desfibradores. São aparelhos que têm como objetivo destruir por completo a estrutura da cana, dando ganho

significativo na extração, pois irá influir na abertura das células e na melhora da embebição.

Extração do caldo

A extração do caldo da cana constitui a primeira etapa básica na fabricação do açúcar e na produção do álcool. Normalmente, esta operação é realizada pelo processo da moagem, podendo-se utilizar também os difusores, pouco utilizados na produção do álcool, no Brasil. Tradicionalmente, a moenda é considerada como unidade esmagadora e é constituída de cilindros dispostos de tal forma que a união de seus centros forma um triângulo isósceles. As moendas são formadas por grupos de cilindros perfeitamente ajustados constituindo os ternos de moendas.

Os cilindros são dotados de ranhuras com a finalidade do aumento da superfície útil de contato com a cana e com o bagaço. Existem os mais diversos tipos de ranhuras nos cilindros, dependendo do projeto industrial do equipamento.

A cana, depois de preparada pela ação das facas rotativas e pelos desintegradores, na forma de massa compacta fina e densa, é encaminhada à primeira moenda, onde sofre uma intensa compressão pelos cilindros.

No primeiro terno é possível obter uma extração de 50 a 70% do caldo.

O bagaço, ainda contendo caldo, é conduzido para a segunda moenda, onde passa novamente por compressões e um pouco mais de caldo é extraído na, segunda unidade esmagadora. Sofrerá tantas compressões quantas forem as unidades esmagadoras e, para aumentar a extração da sacarose, procede-se uma embebição do bagaço com água ou caldo diluído, sendo este um procedimento sempre recomendável.

A fase da embebição é de grande importância no processo de extração do caldo; várias técnicas são adotadas, bem como o cuidado na medição do volume da água a ser aplicada nos embebedores. Pode-se

dizer que o rendimento de extração do caldo é bastante sensível com aplicação adequada do sistema.

Das moendas resultam dois produtos: caldo da cana e bagaço, os quais analisaremos em separado.

Caldo da cana

O processo da moagem da cana e extração do caldo tem por objetivo a obtenção do caldo para posterior processamento, seja para produção do álcool como para a produção do açúcar e do bagaço para queima em caldeiras.

Quimicamente falando e sob o ponto de vista físico-químico, o caldo de cana que flui das moendas, é um dispersóide constituído de materiais em todos os graus de dispersão, incluindo-se desde partículas grosseiras até ions solúveis.

As dispersões grosseiras do caldo, recém extraídos das moendas, são separados com facilidade, utilizando-se um sistema de peneiramento. As dispersões coloidais, moleculares e iônicas são separadas, utilizando-se processos de clarificação.

As dispersões grosseiras são, na sua maioria: bagacilhos, areias, terra, gravetos etc., todos maiores que 0,0001 mm, geralmente, encontrados em quantidade inferior a 5%.

As dispersões coloidais são: graxas, ceras, proteínas, tananino, materiais corantes, colóides resultantes de microrganismos etc., que são encontrados em quantidades que variam de 0,05% a 3%.

As partículas moleculares e iônicas são sais minerais, fosfatos, silicatos, sulfatos, íons Ca, Mg, K, Na etc.

A variação da composição dos caldos de cana, após moagem e seus componentes podem ser observados no quadro 1.

QUADRO 1 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DO CALDO DE CANA APÓS A MOAGEM

Componentes	Variação analítica (em%)		
Sacarose	8,0	a	20,0
Açúcares redutores	0,3	a	2,5
Outros componentes:	mg/100m	a	mg/100ml
Cinzas	250	a	600
Cálcio (Ca)	8	a	30
Magnésio (Mg O)	10	a	30
Potássio (K ₂ O)	80	a	250
Sódio (Na ₂ O)	30	a	60
Fósforo (P ₂ O ₅)	7	a	40
Ferro (Fe ₂ O ₃)	2	a	10
Alumínio (Al ₂ O ₃)	2	a	5
Cloro (Cl)	15	a	30
Sulfeto (SO ₃)	30	a	50
Sílica (Si O ₂)	10	a	50
Proteínas (N x 6,25)	150	a	400
Gomas	20	a	50
Pectinas	20	a	100
Ceras e gorduras	50	a	150
Ácidos orgânicos	50	a	150

FONTE: ESAL, 1977.

Cinzas - o teor de cinzas no caldo de cana varia de 250 a 600 mg/100 ml e sua presença no caldo destinado à produção do álcool não causa alterações, pouco influenciando sobre o pH do mesmo.

Para a produção do açúcar, observam-se algumas alterações na clarificação do caldo; para isto são usadas resinas iônicas, com remoção de 90 a 95% do teor de minerais no caldo.

Potássio e Sódio - são componentes solúveis do caldo e são encontrados na forma de íons. São elementos úteis no processo fermentativo do álcool.

Cálcio e Magnésio - são elementos presentes nas cinzas e não são prejudiciais na produção do álcool.

Fósforo - assume grande importância na industrialização do açúcar e do álcool. Encontra-se no caldo de cana na forma mineral e orgânica. Acredita-se que o fósforo seja proveniente de adubos

fosfatados que se utilizam nos canaviais. É um dos elementos bastante estudados na indústria açucareira.

Sílica - encontra-se no caldo sob três formas: SiO₂ dissolvido, SiO₂ coloidal e silicatos em suspensão.

O principal componente orgânico contido no caldo da cana é a sacarose, que varia de 8 a 21%. A reação mais importante que se passa com a sacarose é a inversão que, sob o ponto de vista químico, não causa grandes problemas na industrialização do açúcar e do álcool.

Açúcares redutores - são representados quase que exclusivamente pela glicose e frutose. Não interferem no processo industrial.

Compostos nitrogenados - são as proteínas ou, mais precisamente, as albuminas. Que são praticamente removidas do caldo no processo de clarificação e, também, não interferem na produção do álcool.

Purificação do caldo

O caldo extraído pelas moendas começa a ser purificado pela remoção do material em suspensão que ele encerra, através de peneiragem. Geralmente contém areia, terra, fibras de cana e de bagaço, genericamente denominado de bagacilho.

Vários são os tipos de peneiras utilizadas na prática para o tratamento do caldo, com objetivo de separar essas impurezas grosseiras nele contidas.

O caldo que sai das moendas deve passar primeiramente através de peneiras de malha de 1,0 milímetro de diâmetro, onde as frações grosseiras do bagaço são removidas. Mesmo peneirado ainda contém muitas partículas finas, de tamanho inferior a 1,0 milímetro, devendo assim passar por uma segunda peneiragem para remover partículas menores que 1,0 milímetro, devendo-se ter no final um caldo com nível de impureza de 0,4 a 0,5 gramas por litro. Existem vários tipos de peneiras para limpeza

do caldo, todas contínuas, de fácil limpeza, estáticas ou vibratórias e, até mesmo, as rotativas.

Após a limpeza do caldo, ele deve ser pesado em balanças especiais ou seu fluxo deve ser obtido com auxílio de medidores de fluxômetros de massa para caldos, iniciando-se assim o processo de controle produtivo que tem por finalidade:

1. controlar o início do processo produtivo para assegurar que terá os melhores resultados práticos;
2. determinar os valores que indiquem a grandeza das perdas que ocorrem na produção;
3. acumular dados que permitam controlar a usina em diversos períodos da safra;
4. controlar o processo produtivo de caldo com relação ao de entrada da cana na usina.

A concentração de sacarose no caldo, após a limpeza, é fundamental e deve ser controlada pelo laboratório com registros reais em toda etapa.

O caldo, assim limpo, está em condições de entrar para o processo produtivo do álcool, após correções devidas para o processo fermentativo.

Bagaço da cana

Das moendas saem o caldo e o bagaço da cana, conhecido simplesmente por bagaço. Este é constituído de fibras de celulose e é um subproduto resultante da moagem da cana.

O bagaço representa cerca de 220 a 260 quilos por tonelada de cana moída e contém, ao sair das moendas, cerca de 45 a 50% de umidade residual, dependendo do tipo da cana e das moendas usadas. Detalhes sobre o bagaço com a finalidade de produção de vapor e geração de energia elétrica, serão estudados em separado (capítulo V, da parte III (página 121)).

Referências

- ALMEIDA, J. R. *Princípios gerais da fabricação de açúcar da cana*. Piracicaba: Centro Acadêmico Luiz de Queiroz, 1944. 228 p.
- AMARAL, A.; ARMAS, R. Deterioro de la caña quemada. *ATAC*, p. 39-50, 3.º trim., 1971.
- BARNES, A. C. *The sugar cane*. London: Leonard Hill, 1964. 456 p.
- DELGADO, A. A. A clarificação do caldo de cana despalhada manualmente e a fogo em função do tempo de espera para industrialização. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 1975. 150 p.
- DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. *Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana*. [S.l.]: Zanini S.A. Equipamentos Pesados, 1977. v. 1.
- GUPTA, A. P. et al. The loss of in sugar cane after harvest. *Inst. Sug. J.*, n. 842, p. 47, 1969.
- HUMBERT, L. G. Mechanization of sugar cane harvesting. *Outlook on Agric.*, v. 7, n. 1, p. 10-13, 1972.
- HUGOT, E. *La Sucrierie de Cannes*. Paris: Dunod. 1970. 989 p.
- HUMBERT, R. P. *The Growing of Sugar Cane*. Amsterdam: Elsevier, 1963. 710 p.
- JENKINS, G. H. *Introduction to cane sugar technology*. Amsterdam: Elsevier, 1966. 479 p.
- MAADE, G. P. *Manual del azúcar de caña*. Tradução Mário G. Menecal. Barcelona: Montaner y Simon S. A., 1967. 939 p.
- OCTÁVIO, A.; VALSECHI. *A queima da cana-de-açúcar e suas conseqüências*. Piracicaba, 1951. 123 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", 1951. 123 p.
- PARANHOS, S. B. *Colheita mecânica da cana-de-açúcar*. Piracicaba: Departamento de Tecnologia Rural, Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", 1974. Palestra.
- RIPOLI, T. C. *Corte, carregamento, transporte e recepção da cana-de-açúcar*. 2. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", 1975. 51 p.

PROCESSO INDUSTRIAL NA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL - FERMENTAÇÃO

Processo fermentativo

Antes de abordarmos o processo fermentativo para produção do álcool, julgamos oportuno expor, em rápidas considerações, os princípios básicos da fermentação alcoólica industrial.

Entende-se que a fermentação alcoólica é a ação de leveduras sobre açúcares fermentáveis contidos em uma solução/suspensão. É um processo biológico no qual a energia formada por reações de oxidação pode ser utilizada para o crescimento das leveduras e a oxidação parcial anaeróbia da D-glucose utilizada para a produção do álcool e do CO_2 .

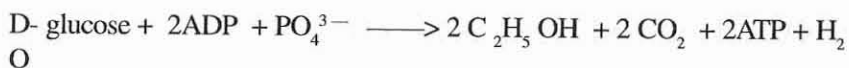
A reação se dá em três fases:

1 – Via aeróbia

D-glucose \longrightarrow respiração \longrightarrow $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (crescimento celular rápido)

2 – Via anaeróbica

D-glucose \longrightarrow fermentação \longrightarrow C₂H₅OH + CO₂ (crescimento celular lento)



Leveduras são fungos unicelulares que pertencem a um grande grupo heterogêneo de organismos eucarióticos. São basicamente duas espécies de leveduras: *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces pombe*. As leveduras se reproduzem tanto em estado haplóide como diplóide.

A nutrição e sexo desempenham papel importante no controle do ciclo de divisão celular. Quando os nutrientes são abundantes, as leveduras proliferam-se como células diplóides, com um tempo de ciclo celular de cerca de duas horas. Se os nutrientes são deficientes, as leveduras entram em míose para formarem esporos haplóides, os quais germinam quando as condições melhoram. Essas células podem se proliferar ou se fundir sexualmente para originarem células diplóides.

As leveduras de fusão proliferam tipicamente como células haplóides que se fundem em resposta à privação de nutrientes para formarem células diplóides.

Algumas espécies de leveduras reproduzem-se sexuadamente formando esporos, tendo seu ciclo de reprodução assexual quase sempre vegetativo, conhecido por germinação ou brotamento, do qual as células filhas efetuam a fermentação alcoólica.

As variedades de leveduras usadas na produção do álcool são selecionadas entre a *Saccharomyces cerevisiae*, *S. ellypsoides*, *S. fragilis* e outras, mas a que predomina é a primeira.

As leveduras são selecionadas para:

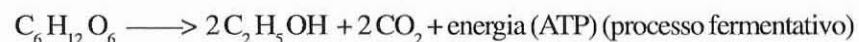
1. fermentação altamente produtiva;
2. alto rendimento em etanol;
3. tolerância ao etanol;
4. ótima tolerância ao baixo pH;

5. alta tolerância na faixas de temperatura;
6. alta tolerância à contaminação.

As leveduras selecionadas sob alto controle tecnológico permitem um bom rendimento industrial. Várias universidades e centros de pesquisas, no Brasil e no exterior, procedem constantemente seleção de boas variedades de leveduras industriais para produção do etanol.

Cinética da fermentação

A cinética da fermentação alcoólica é um assunto altamente estudado e pesquisado nos centros de pesquisas especializados, tendo em vista seu aspecto industrial e econômico. Em resumo, podemos dizer que o que se passa no mecanismo é a conversão de açúcares redutores (D-glucose) em etanol, com produção simultânea de etanol e gás carbônico. Na reação global obtém-se dois moles (moléculas grama) de etanol e dois moles de gás carbônico com liberação de energia (ATP).



Via mecanismo de conversão acima apontado, todo açúcar redutor (D-glucose) é convertido e transformado em etanol, com rendimento teórico de 0,511 g por mol de D-glucose.

Ocorrem, no mecanismo, reações secundárias, resultando na redução de rendimento teórico, conhecido como *Rendimento Pasteur*,

QUADRO 1 - RENDIMENTO ÓTIMO DE FERMENTAÇÃO DE LEVEDURAS EM CONDIÇÕES ANAERÓBICAS

Produtos	g por 100 g de D-glucose
Etanol	48,4
Dióxido de carbono	46,6
Glicerol	3,3
Ácido succínico	0,6
Massa de células	1,2

FONTE: HODGE E HILDEBRANDT, 1954.

que demonstra que no processo o rendimento máximo real é de 95%. O quadro 1 mostra este fato de forma mais clara:

O rendimento fermentativo obtido em laboratório (64,33 litros de álcool/100 quilos de sacarose) não é atingido nas destilarias industriais, e representa um máximo ideal.

Em unidades industriais tecnicamente bem conduzidas, atinge-se um rendimento de 60 litros de álcool por 100 quilos de sacarose, alcançando, em alguns casos, 61 litros em destilarias em condições ótimas de funcionamento.

Rendimento Pasteur

Estequiometricamente, a partir de 100 gramas de D-glucose, obter-se-ia 51,11 gramas ou 64 mililitros de álcool.

Pasteur (1822-1895), químico francês, demonstrou que em condições de trabalho reais, embora com todo rigor da técnica, obtém-se a partir de 100 gramas de glicose, 48,5 gramas ou 61 mililitros de etanol a 15°C.

Isso porque 5% do açúcar é consumido no crescimento celular e para a formação dos subprodutos da fermentação, tais como glicerol, ácido succínico etc.

Esse rendimento, que é conhecido como *Rendimento Pasteur* e é facilmente atingível empregando-se o sistema de reutilização de leveduras (*Melle Boinot*) ou de fermentação contínua, tem uma grande importância para os sistemas clássicos que não envolvem o uso de elevadas concentrações de leveduras.

A natureza do substrato e o conhecimento da sua composição são de grande importância para avaliação da eficiência da fermentação alcoólica.

Quando se trabalha com substratos (mosto) complexos, em processos industriais, notadamente na presença de corpos estranhos ao meio (fibras, gomas, leveduras selvagens etc.) observa-se a geração de novos subprodutos e o rendimento industrial é reduzido para até 90%.

As condições físico-químicas do meio fermentativo tais como a temperatura, a aeração, o pH do meio entre outras, têm notável influência sobre a reprodução das leveduras durante o processo da fermentação.

No processo fermentativo alcoólico, nas destilarias, a temperatura ideal para a maioria das leveduras é na faixa de 25 a 30°C, até o limite de 32°C.

As leveduras necessitam que o meio fermentativo tenha um pH ideal, bem como necessitam de ar para aumentar sua vida vegetativa na primeira fase de crescimento e da transformação em álcool, na segunda fase da fermentação.

- pH ideal para uma grande gama de microrganismos é de 4,0 a 5,0.
- A concentração ideal, em graus Brix, é de 12 a 13, até o limite de 16.

Na fase fermentativa, o mosto, em condições ideais de concentração, pH e temperatura, recebe a levedura.

O caldo de cana tecnicamente tratado, isento de impurezas, com pH corrigido, constitui o substrato ou mosto de fermentação. É o meio fermentativo para produção do álcool.

Considerações teóricas sobre fermentação alcoólica

Efeito da concentração de açúcar

As hexoses (glicose, frutose, sacarose, maltose ou galactose) são reactantes primários no metabolismo da fermentação alcoólica. Sob as condições fermentativas, a taxa de produção de etanol pode ser avaliada, sob o ponto de vista da concentração de açúcar no mosto, pela clássica equação de Monod:

$$V = V_{\max} \frac{C_s}{(K_s + C_s)} \quad (\text{Cinética da fermentação})$$

Onde V é a produtividade específica de etanol ($\text{g etanol g}^{-1}\text{células h}^{-1}$);

C_s é a concentração de açúcar no substrato (gl^{-1});

K_s é uma constante de saturação, tendo um valor muito baixo ($0,2 - 0,4 \text{ gl}^{-1}$);

Em uma concentração muito baixa em açúcares (menor que 3 gl^{-1}), as leveduras não desenvolvem e a produtividade decai acentuadamente (LEVENSPIEL, 1980).

Em altas concentrações, (o limite de saturação de açúcares no mosto é atingido quando se atinge 150 gl^{-1}) o processo fermentativo é perturbado observando-se uma inibição das enzimas no processo e a taxa de conversão, como consequência, é reduzida (HOLZER, 1968; WANG et al., 1979).

Efeito do etanol sobre as leveduras

O etanol é um elemento tóxico para as leveduras, por isso é recomendável se utilizar variedades de de alta tolerância nos processos industriais.

O efeito da inibição do etanol sobre as leveduras é pequeno em baixas concentrações de etanol (menor que 20 gl^{-1}), mas aumenta rapidamente em altas concentrações. Em concentrações maiores que 110 g de etanol/litro a atividade das leveduras cessa rapidamente (BAZUA; WILKE, 1977).

Efeito do oxigênio sobre as leveduras

É importante se evitar a oxigenação excessiva (metabolismo aeróbio) uma vez que somente atuará na reprodução de células, com baixa produção de etanol. Em altas concentrações de oxigênio observa-se um estímulo ao desenvolvimento de leveduras, porque ele é necessário

ao desenvolvimento de novas células. A produção alcoólica é realizada em meio anaeróbico.

Efeito da temperatura

O efeito da temperatura é muito importante no processo fermentativo do álcool, existindo uma faixa ideal que não deve ultrapassar 32°C . A exposição das leveduras em temperaturas maiores que 30°C provocará uma excessiva degradação das enzimas desenvolvidas pelas leveduras resultando em baixos rendimentos alcoólicos.

No processo fermentativo haverá uma intensa liberação de energia térmica, resultando no aquecimento do mosto.

O metabolismo das leveduras libera $11,7$ quilocalorias por quilo de substrato de calor por cada quilograma de substrato consumido (LAMPRECHT; MEGGERS, 1969).

Na fermentação alcoólica deve-se ter em mente o *ponto crítico* (maior intensidade de produção), que acontece de 12 a 15 horas após o início do processo e é quando se observa o maior calor do meio.

Efeito dos nutrientes

Muito embora o caldo de cana (*mosto*) seja um meio rico em nutrientes naturais, é conveniente a adição de outros nutrientes ao meio, pois nem todo mosto tem a mesma composição.

Pesquisas revelam que é recomendável a adição de nutrientes secundários ao mosto da cana para produção do etanol, nutrientes necessários à manutenção e crescimento das células. (JONES et al., 1981; GRYLLS, 1961). Observou-se em testes de laboratório, que as células crescem muito rapidamente, com alta produção do etanol. O incremento de produção foi observado em meio de glicose suplementado com NH_4Cl , MgSO_4 , CaCl_2 (CYSEWSKI; WILKE, 1943).

Os íons amônia fornecem nitrogênio para proteínas e síntese do ácido nucleico. Os estratos das leveduras solúveis em água contêm todos os fatores para o crescimento das leveduras: amino ácidos, purinas, pirimidinas e vitaminas, bem como sais minerais. Fósforo, potássio (do estrato das leveduras), magnésio e cálcio são incorporados na massa celular e agem como co-fatores, ativando muitas enzimas.

Para estabelecer o melhor meio nutricional requerido pelos mostos, Wong (1983) desenvolveu um meio sintético bem definido (quadro 2) que, depois de adaptação das leveduras em culturas contínuas, resulta em alta produtividade e rendimento.

Sais minerais $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e KCl, vitaminas, biotina, são simultaneamente agentes de crescimento, enquanto tiamina e piridoxina são agentes de rendimento do etanol. A tiamina age também no aumento da tolerância do etanol (RAHN, 1952).

QUADRO 2 - MEIO SINTÉTICO PARA LEVEDURAS DE FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA

Nutriente	Concentração	Nutriente	Concentração
Glicose	100 g l ⁻¹	MnSO ₄	1,3 mg l ⁻¹
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	3,54 g l ⁻¹	KI	0,50 mg l ⁻¹
KCl	0,625 g l ⁻¹	FeSO ₄	0,50 mg l ⁻¹
H ₃ PO ₄	0,411 g l ⁻¹	CoSO ₄	0,30 mg l ⁻¹
MgSO ₄	0,061 g l ⁻¹	Piridoxina	3,33 mg l ⁻¹
CaCl ₂	0,022 g l ⁻¹	Pantotenato	2,00 mg l ⁻¹
H ₃ BO ₃	5,0 mg l ⁻¹	Tiamina	1,34 mg l ⁻¹
ZnSO ₄	2,8 mg l ⁻¹	Inositol	1,26 mg l ⁻¹
Al ₂ (SO ₄)	1,5 mg l	Biotina	5,25 µg l ⁻¹
CuSO ₄	1,3 mg l		

FONTE: WONG, 1983.

Eficiência global da fermentação

No processo produtivo observam-se perdas inevitáveis de álcool por evaporação e reações secundárias, tais como esterilização e oxidação, havendo também o consumo de parte de açúcares por microrganismos contaminantes.

A maneira prática e simples de se calcular a eficiência do processo fermentativo é a de relacionar o teor alcoólico obtido na destilaria com o valor teórico que se auferiria a partir da equação de Gay Lussac, obtendo-se, assim, a eficiência global do processo. Supondo-se, por exemplo, que, de um lote de cana-de-açúcar com 14,18% açúcares totais, expressos em glicose, obteve-se 70 litros de álcool absoluto (uma tonelada de cana com 14,18% de açúcar). Teoricamente, poder-se-á obter 90,75 litros de álcool absoluto, considerando-se que todo o açúcar foi convertido e que não houve perdas em nenhuma das etapas do processo. A produção de 70 litros representa, portanto, 77% do rendimento teórico.

Preparo do mosto

No tanque de pré-diluição procede-se a correção do pH do caldo de cana, resultando o *mosto*, solução ideal para realizar a fermentação alcoólica nas dornas de fermentação.

Portanto, o preparo do mosto é realizado com a pré-diluição do caldo até se atingir a concentração ideal e correção do pH.

Dornas de fermentação

Todo processo fermentativo é realizado em dornas de fermentação com refrigeração externa e/ou interna, procurando-se conduzir o processo fermentativo, em toda sua fase, em temperatura na faixa de 28 a 30° C, até o limite de 32° C.

As dornas são fabricadas com chapas de aço comum e seu volume não deve ir além de 300 metros cúbicos, sendo que as usinas de grande e médio porte têm, em média, 10 a 12 dornas, permitindo um fluxo contínuo de produção para operação eficiente e econômica das destilarias/usinas.

O *mosto*, após a fermentação, rico em álcool, recebe a denominação de *vinho* (*mosto fermentado*).

A levedura, para o processo fermentativo, é obtida através da centrifugação do vinho da fermentação anterior. O concentrado de leveduras é denominado de *leite de leveduras*. Este, após ser separado do vinho, é tratado com uma solução de ácido sulfúrico e nutrientes antes de ser enviado para nova dorna. O material utilizado nas centrífugas e tanques de tratamento das leveduras é de aço inoxidável.

Para se iniciar uma fermentação sem partir de uma anterior, utiliza-se a levedura obtida comercialmente ou através de seleção na própria usina, a qual terá de ser multiplicada através de fermentações sucessivas em laboratório aumentando-se os volumes sucessivamente até se atingir uma quantidade suficiente para uma dorna. Este trabalho é iniciado em laboratório, em equipamentos de vidro, e finalizado em dornas de pré-fermentação com volume entre 1 a 2 metros cúbicos, em aço inoxidável.

No processo industrial, todo sistema de limpeza e higienização das dornas deve ser altamente rigoroso e controlado. A assepsia das dornas é fundamental, pois uma contaminação das leveduras resultará em grandes prejuízos de produção e tempo para se atingir novas situações ideais.

Curvas de fermentação

Todos os processos fermentativos apresentam uma curva de fermentação bem definida em função de:

- 1- concentração inicial do mosto – grau Brix;
- 2- produção de etanol/tempo de fermentação;
- 3- temperatura de trabalho.

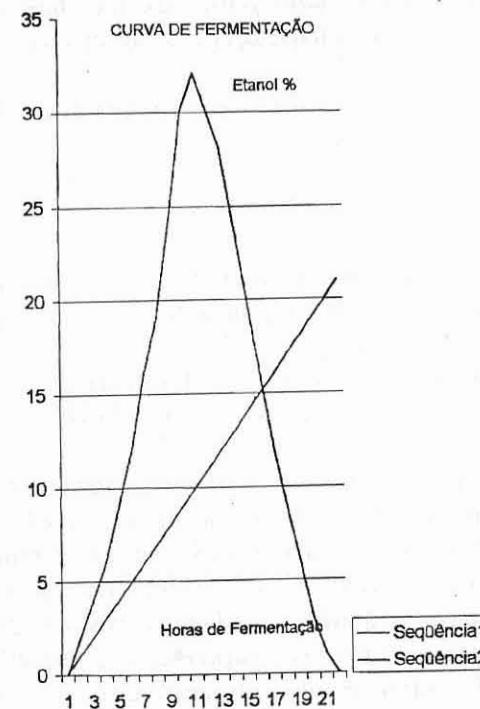
A curva de fermentação representada na figura 1 representa um processo fermentativo em uma dorna de grande porte (650 metros cúbicos), dotada de sistema de agitação controlada, resfriamento com serpentinas internas, dorna fechada com sistema de lavagens e recuperação de gás carbônico.

O mosto fermentado foi dextrina/glucose resultante de processo enzimático. Veja apêndice II.

O início da fermentação foi de 12° Brix, etanol zero.

A curva representa a produção de etanol/horas, indicando o teor alcoólico a cada duas horas. Portanto, observa-se que a maior produção alcoólica se realiza na décima hora (32% de etanol).

FIGURA 1 - CURVA DA FERMENTAÇÃO



Dornas de fermentação industrial bem projetadas

As dornas de fermentação são recipientes nos quais se processa a fermentação alcoólica. São construídas em chapas de aço ao carbono, cilíndricas, com altura igual a uma vez e meia ou, duas vezes, o seu diâmetro, em média. São instaladas sobre suportes metálicos (vigas/cantoneiras), com 80 a 120 centímetros de altura, dependendo do seu volume e diâmetro. O seu fundo é cônico, com válvula de descarga de lodo (lama) no seu vértice, descarga da água de lavagem, limpeza e envio do vinho para os tanques-pulmão da destilaria, após a fermentação.

O dimensionamento e especificação das chapas de construção dos fermentadores envolve muitos fatores teóricos, tais como volume do fermentador, sistema de refrigeração, de agitação, dorna aberta ou fechada etc.

As dornas modernas utilizam sistema de refrigeração interna por meio de serpentinas, outras trabalham com refrigeração externa e existem algumas sem sistema de refrigeração. Sua vida útil, com boa manutenção é de 15 a 20 anos, com taxa de depreciação de 5 a 6% ao ano e 1,5 a 2,0% de manutenção. O seu volume é variável, porém, tecnicamente, é recomendável que seja harmônica com a capacidade das colunas de destilação. É ideal que uma dorna tenha volume suficiente para alimentar 2 a 3 horas a primeira coluna.

Tomemos, por exemplo, uma destilaria com capacidade de produção de 200.000 litros de álcool por dia (24 horas), ou seja, 8.400 litros/hora.

O vinho, após completa fermentação terá uma média de 7,5% de álcool e a relação álcool/vinho pode ser tomada como 1: 12. Nestes parâmetros poderemos indicar, a princípio, dornas de 200 metros cúbicos. Tomando-se por base o período de 18 a 20 horas, o tempo de fermentação completa, num total de 10 dornas, o seu volume total será de 2.000 metros cúbicos. Cada dorna, em 18 horas, terá produzido $200 \times 0,075 = 15$ metros cúbicos de álcool, o suficiente para alimentar a coluna durante 2 horas.

Com uma programação bem feita, as 10 dornas de 200 metros cúbicos serão adequadas para atender toda demanda de vinho da destilaria.

As dornas são distribuídas e ordenadas *lay-out* de forma a permitir acesso fácil aos registros de controle e toda a sua volta para reparos, manutenção e higiene.

A velocidade de fermentação pode ser aumentada de 30 a 40% quando se utilizam sistemas de agitação e controle de temperatura adequados. Em dornas de grande porte recomenda-se a circulação do mosto com auxílio de agitadores tipo hélices *propeler*, com velocidades variáveis para efetuar a mistura de todo mosto, sem deixar cantos mortos.

A movimentação deve ser calma, não turbulenta, durante todo processo fermentativo. Os motores dos agitadores que podem ter até mais de 50 HP, são instalados no topo do fermentador e todo sistema de controle deve ser de fácil acesso ao operador. É recomendável um sistema de velocidade controlada, não mais que 50 rpm no eixo central.

Todos os fermentadores deverão ser interligados a um sistema de lavagem para o CO₂ (coluna de lavagem) onde todo gás resultante da fermentação é lavado e o álcool, arrastado pelos gases, será recuperado (pode-se recuperar até 1% do volume de produção diária).

Na sala de fermentação serão instalados um pré-fermentador em aço inoxidável, um tanque para ácidos (ácido clorídrico ou sulfúrico), um tanque de dissolução de melaço, um tanque para antiespumante, um tanque para detergente, um tanque de diluição de produtos químicos (nutrientes), compressor de ar, filtro biológico e sistemas auxiliares: bombeamento, transporte e controle.

No sistema de refrigeração recomenda-se a circulação externa em trocadores de calor de placas. Nos fermentadores de refrigeração interna recomendam-se trocadores de calor de serpentinas bem centralizadas, não junto as paredes para facilitar a lavagem e higienização.

Nos fermentadores de refrigeração externa são adotados os trocadores de tubos e cascos ou trocadores de placas. As placas ficam separadas entre si por diminuto espaço, que varia, normalmente, de 2 a 5 milímetros. Sendo a superfície das placas corrugadas, os graus de turbulência alcançados são bastante altos – com valores *Reynolds*, na faixa de 10 a 400 Re –, dependendo do padrão geométrico do fermentador. Esses fatores combinam-se para dar alta taxa de transferência de calor.

As características dos trocadores de placa permitem condições apropriadas para trabalhos líquido/líquido com fluxo turbulento, como é o caso do resfriamento dos mostos em fermentação. Trata-se de um resfriamento em circuito fechado de água e fluido não incrustante.

As placas são geralmente do tipo *Paraflow*, prensadas, em aço inoxidável AISI-316, titânio, níquel 200, monel 400, alumínio-latão e, até mesmo, de tântalo ou qualquer outro material dúctil, suficiente para ser prensado. Um perfil especial de canais e pequenas ondulações reforçam as placas, aumentando a área efetiva de transferência de calor e induzem à turbulência no fluxo de líquidos entre placas, que apresentam espessura entre 0,61 milímetros e 1,22 milímetros e espaçamento é da ordem de 2,5 a 5,00 milímetros. Dependendo do tipo, são disponíveis com área de transferência de calor desde 0,026 metros quadrados até 2,2 metros quadrados, sendo que, dependendo do seu suporte, pode-se instalar até 700 placas. As maiores unidades permitem até 1.500 metros quadrados de superfície de troca térmica.

Os grandes fabricantes de trocadores de calor de placa contam com excelentes informações técnicas a respeito dos mesmos. Como conclusão, podemos dizer que os intercambiadores de calor de placas são os mais econômicos para atividades líquido/líquido, como é o caso do resfriamento dos mostos em dornas na produção de álcool (circulação externa).

O maior calor desenvolvido na fermentação alcoólica ocorre durante o período que denomina-se de turbulência (fermentação intensiva), demandando grande pico de refrigeração. Projetos bem planejados podem reduzir sensivelmente o investimento no sistema de refrigeração externa, permitindo utilizar um sistema que atenda a dois ou três fermentadores por simples manobra de válvulas.

Sala de fermentação - São as edificações onde se abrigam as dornas, os denominados pré-fermentadores, as centrífugas, os tanques de auxiliares e outros equipamentos ligados ao processo fermentativo. São construções projetadas para atender todos os princípios da engenharia bioquímica (bioengenharia), os quais variam para cada região, de acordo com as condições climáticas, de tal forma que se obtenha sempre o máximo de higiene, de controle de temperatura, de iluminação e ventilação

adequada. O seu piso deve ser apropriado para permitir lavagem e escoamento facilitado dos resíduos. Devem-se projetar galpões cobertos, construções sólidas e suficientemente amplas para que os equipamentos sejam instalados com espaço livre à sua volta, permitindo fácil assepsia, reparos e manutenção.

Higienização do sistema fermentativo

Todos os processos fermentativos estão sujeitos a problemas de infecção e contaminação bacteriológica. Podem ser facilmente contaminados por microorganismos, que contagiam todo meio fermentativo. Para controlar este problema usam-se antissépticos para criar ambiente desfavorável a outros microorganismos, em nada prejudicando o desenvolvimento das leveduras. Cada anti-séptico atua de maneira diferente, agindo sobre um ou mais grupos de microorganismos. Alguns agem favoravelmente sobre a levedura, ao mesmo tempo que inibem bactérias e fungos estranhos ao meio.

Nas destilarias de álcool usam-se de 4 a 5 miligramas de hexaclo-rofenol por litro de mosto ou, 0,01 a 0,05 gramas de pentaclorofenol por litro de mosto. Até o ácido sulfúrico que se usa para correção do meio de cultura, age como anti-séptico. Hoje, pode-se contar com produtos assépticos de grande poder, marcas comerciais bastante difundidas, eficientes e econômicos.

O problema da assepsia dos meios de cultura pode ser analisado sob dois aspectos: *desinfecção propriamente dito e esterilização*.

A desinfecção, geralmente, é feita por produtos químicos e utiliza métodos para evitar contaminação por microorganismos estranhos ao meio, sem afetar os que são úteis ao processo.

Joergensen define a desinfecção como sendo “a destruição ou inibição de certas espécies de microorganismos, prejudiciais ao meio de cultura.”

A desinfecção é um grau mais atenuado de esterilização e é útil ao lado desta. É largamente utilizada em indústrias que envolvem microorganismos, tais como produção de álcool, alimentos, farmacêuticas

e a esterilização, propriamente dita, é realizada por vapor úmido, calor seco, filtração bacteriológica, pasteurização, radiação etc. Nesse caso, são destruídas as células microbianas na sua totalidade, existentes no meio ou no equipamento.

Como dissemos anteriormente, a desinfecção é um grau mais atenuado da esterilização e é a mais empregada nas indústrias de fermentação, porque evita contaminações altamente prejudiciais ao processo fermentativo, as quais alteram profundamente o meio, transformando a matéria-prima em produtos secundários ou reduzindo sensivelmente o rendimento do processo.

Os principais inconvenientes da infecção são:

1. modificar as condições da fermentação;
2. aumentar o consumo de nutrientes;
3. alterar a pureza do produto final;
4. contaminar meio ambiente.

O emprego das técnicas de desinfecção e esterilização é de grande importância em todo e qualquer processo fermentativo.

A contaminação pode ter origens diversas, desde o ar, a água, os produtos químicos etc. A formação de espumas é, muitas vezes, uma manifestação de contaminação. Podemos afirmar que, nos meios fermentativos, ela está sempre presente onde existem nutrientes e temperaturas adequadas. Diversos produtos químicos têm sido utilizados como desinfetantes em indústrias bioquímicas: ácidos, álcali, compostos halogenados, compostos fenolados, formaldeídos, água oxigenada e, até mesmo, alguns antibióticos.

Os desinfetantes químicos, em alguns casos, atuam até mesmo como estabilizadores, conforme a concentração usada, o pH e a temperatura. Muitos deles destroem qualquer célula viva.

Em alguns casos utilizam-se, durante o processo fermentativo, produtos denominados anti-contaminantes, tais como os fenóis, halogenados e até mesmo antibióticos.

Dentre os anti-sépticos de emprego mais comum, em dornas de fermentação, encontram-se o H_2SO_4 , o formol, a H_2O_2 , $KmnO_4$, e o fenol. Destes, o de maior uso é o H_2SO_4 , em conjunto com o pentaclorofenol.

Desinfetantes químicos

A desinfecção é a esterilização, via úmida, de microorganismos nocivos ao processo fermentativo. Dentre os desinfetantes químicos destacam-se :

O *Fenol*, bastante difundido nessa área, serve para definir o chamado “coeficiente fenólico”, que é a intensidade de poder de desinfecção de uma determinada substância. É um anti-séptico seletivo, muito mais usado na “esterilização química” que na desinfecção. O fenol exige sempre uma adaptação preliminar da levedura ou de outro microorganismo útil, para fermentação a que está servindo.

Usam-se, com boa eficiência, fenóis halogenados, o pentaclorofenol e seus sais na concentração ao redor de 0,002%, em fermentações alcoólicas. Outras substâncias halogenadas têm sido utilizadas, tais como o hipoclorito de cálcio, em diversas concentrações, principalmente em presença de hidróxido respectivo, com bons resultados.

Os *hipocloritos* funcionam como anti-sépticos no melaço, em fermentações alcoólicas, inibindo microfloras prejudiciais ao meio. A proporção varia de 50 a 100 g de cloro ativo por tonelada de melaço. Na prática, observa-se que a ação positiva de um desinfetante se caracteriza por inibição de contaminantes e, ao mesmo tempo, facilita a ação dos microorganismos obtendo-se maior rendimento no processo fermentativo.

O *pentaclorofenol* e o *hexaclorofenol* são produtos que têm sido muito estudados na fermentação alcoólica, demonstrando excelentes resultados na concentração de 3 a 4 mg por litro de mosto.

Ácidos minerais, tais como o ácido sulfúrico, são recomendados para modificar o valor do pH do *mosto* e melhorar a ação dos agentes de desinfecção e, ao mesmo tempo, que dão condições consideradas ótimas para a fermentação.

Além dos fenóis e derivados, outros agentes de desinfecção têm sido usados na fermentação alcoólica, destacando-se: anidrido sulfúrico (gás), sais de cobre para impedir infecções lácticas e butíricas (0,2%) e benzoato de sódio.

O sulfonol (dodecilbenzeno-sulfonato de sódio) mostrou ser um ótimo desinfetante, na produção de álcool a partir do melão (meio facilmente contaminável).

Antibióticos

Os primeiros antibióticos utilizados, em processos fermentativos, datam de 1946, quando foram usados inicialmente em cervejarias e indústrias de vinho, com bons resultados.

A penicilina e a polimixina foram utilizadas com muito sucesso, principalmente no controle dos gram-positivos e dos gram-negativos. A penicilina tem demonstrado bastante eficiência no controle dos contaminantes, não interferindo na atividade da levedura, quando presente na concentração de 500.000 unidades por litro.

Outros antibióticos são utilizados: tetraciclina, riboflavina etc. A penicilina G potássica vem sendo testado, desde, 1963, com bons resultados; mostrou-se bastante eficiente e com atividade uniforme nas concentrações de 500 unidades por litro de mosto. Vários testes foram realizados, em escala industrial, em dornas de mais de 80 mil litros, em período de safra completa. Bons resultados econômicos e técnicos foram constatados. Milhões de litros de álcool foram produzidos com estes testes reais em destilarias.

Referências

AQUARORONE, E.; BORZANI, W.; LIMA, U; *Biotechnologia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo/Edgard Blucher Ltda, 1975. v. 1, 2 e 3.

BUILOCK, J. D. Industrial alcohol. *Microbial Technology*. Cambridge: University Press, 1979. v. 29, p. 310.

GRYLIS, F. S. M. The chemical composition of yeasts. *Biochemist's handbook*. London: C. Long, 1961. p. 1050.

HARISSON, J.; GRAHAN, J. Yast in distillery. Rose, H.; Harisson, J. S. *The yeasts*. New York: Academic Press, 1970. v. 13.

HODJE, H. M; HILDEBRANDT, F. M. Alcoholic Fermentation of malasses. *Industrial fermentation*. New York: Chemical Pub. Co. 1954. v. 1, p. 73.

YANG, V.; TRINDADE, S. Brazil's Gashol Program. *Chem Eng. Prog.*, v. 75, n. 4, p. 11, 1979.

PLEETH, S. J. W. *Alcohol – a fuel for internal combustion engine*. London: Chapman & Hall Ltda, 1950.

SPENCER, G. L. *Cane sugar handbook*. 9. ed. New York: Wiley, 1963.

SUZUKI, M. *Molasses and industrial alcohol*, 98. The Japanese Alcohol Market. Paris: Dev. Center/OECD, 1976.

THAMPY, R. T. *Ethyl alcohol production techniques*. Chemicals from Alcohol. Pearl River, New York: Noyes Dev. Corp., 1976. p 132.

VERVALIN, C. H. Biomass fuel may account for 10% of US energy in year 2020. *Hydrocarbon process*, v. 59, n. 8, p. 15, 1980.

WEBB, R. Industrial alcohol. *Biochemical Engineering*. Van Nostrand, London: F. C. Webb, 1971. 630 p.

WILKIE, H. F.; PROCHASKA, J. A. *Fundamentals of distillery practice*. Louisville, H. Ph. D. Thesis. Berkeley, CA: University California, 1983.

WONG, H. *Ph D. Thesis*. Berkeley, CA: University California, 1983.

DESTILAÇÃO DO ÁLCOOL

Considerações gerais

Pode-se definir a destilação como um processo físico no qual, mediante calor, separam-se os componentes voláteis de uma mistura líquida por evaporação.

Nesse processo, a concentração do componente mais volátil é cada vez mais concentrada na fase vapor; no caso da destilação do álcool, o componente mais volátil é o álcool e o menos volátil é a água.

O processo é realizado em aparelhos industriais denominados colunas ou torres de destilação. É contínuo e, em linhas gerais, tem três partes básicas constituintes das colunas:

1. coluna propriamente dita;
2. reebulidor;
3. condensador.

Coluna de destilação

A coluna é constituída de um corpo cilíndrico de chapas de aço ao carbono ou aço inoxidável. O seu diâmetro e sua altura variam de acordo com os cálculos realizados em função da volatilidade dos componentes a destilar.

A parte mais alta é denominada *topo da coluna* e a mais baixa *base da coluna*. Seu corpo é constituído de pratos e borbulhadores dispostos ordenadamente. Existem outros tipos, pouco utilizados na indústria do álcool, são as denominados colunas de recheio.

Colunas de pratos e borbulhadores

As principais colunas utilizadas na industrialização do álcool são as de pratos e borbulhadores, que abordaremos em rápidas considerações. São constituídas de um corpo cilíndrico, no interior do qual estão instalados vários pratos e borbulhadores, sobrepostos que são também denominados de bandejas e calotas.

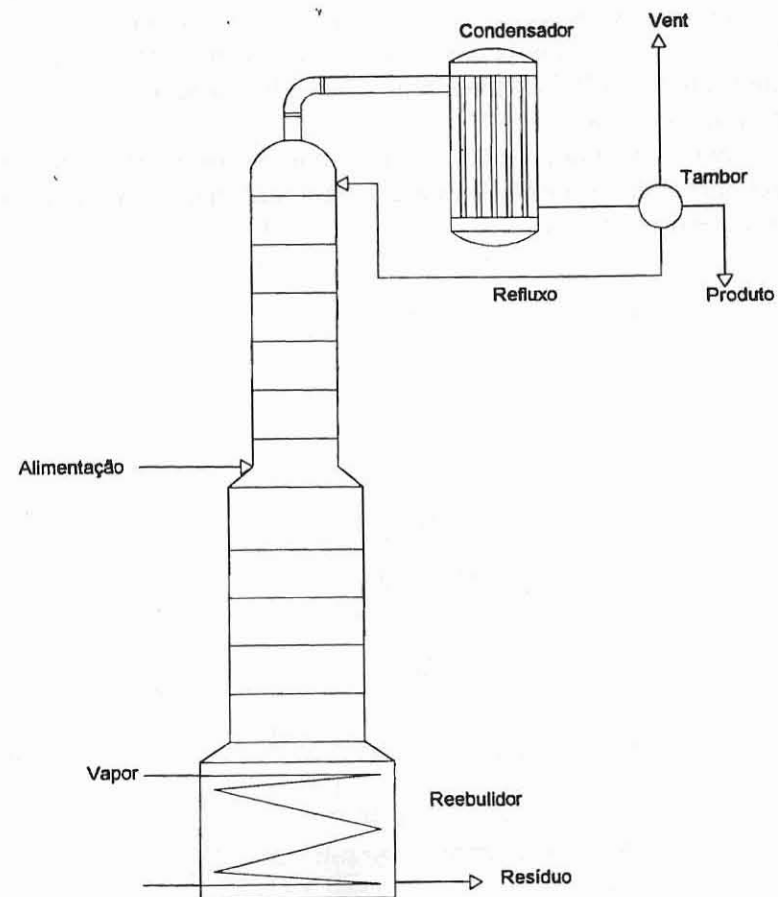
Os pratos são dispostos um sobre o outro, desde a base até o topo. Sobre cada um o existe um grande número de borbulhadores, que nada mais são do que dispositivos de forma cilíndrica, com aparência de um copo metálico, dotados de ranhuras laterais até certa altura, com 3 a 5 milímetros de abertura (geralmente 1/3 da sua altura). Estes borbulhadores são fixados por solda ou parafusos especiais sobre os pratos, distribuídos harmonicamente segundo detalhes técnicos.

O número de pratos em uma coluna varia de 30 até 70 e o número de borbulhadores sobre cada um deles varia de acordo com seu diâmetro e a simetria de distribuição. Estes são detalhes técnicos estudados por projetistas especializados.

O número de borbulhadores em cada prato pode alcançar de 150 a 200, dependendo do diâmetro da coluna. Assim, em uma coluna pode haver mais de 70 pratos e 5.000 borbulhadores.

A figura 1 esquematiza uma coluna de destilação de pratos e borbulhadores e seus componentes básicos.

FIGURA 1 - COLUNA DE DESTILAÇÃO



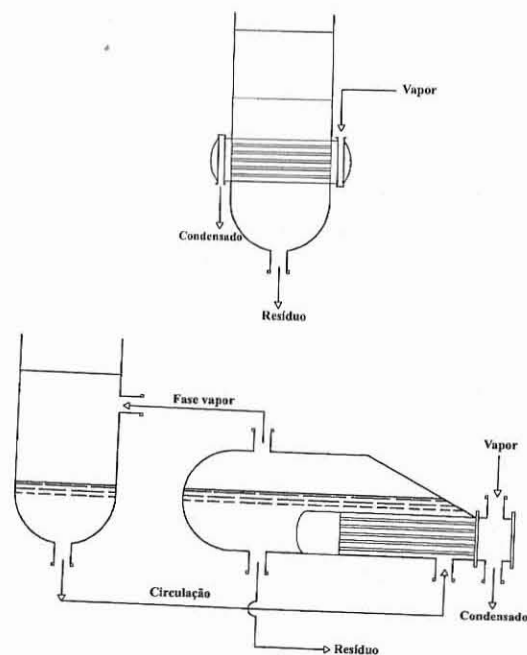
Reebulidores

Os reebulidores constituem o sistema de aquecimento das colunas e estão instalados em sua base.

O aquecimento das colunas pode ser de dois tipos: *vapor direto* (*vapor vivo*) e *reebulidores*. Ambos sistemas se destinam exclusivamente a aquecer e levar a mistura a separar até a ebulição, emissão de vapores dos componentes mais voláteis. Podem existir colunas com um ou dois reebulidores, calculados em função do volume da mistura a destilar.

Nos reebulidores não existe o contato direto do vapor de aquecimento com a mistura a aquecer. São verdadeiros trocadores de calor de feixes de tubos.

FIGURA 2 - PRIMEIRA COLUNA DE ÁLCOOL



O contato direto só é adotado quando um dos componentes é a água, como é o caso da primeira coluna de álcool (figura 2).

Condensadores

No topo da coluna estão dispostos os condensadores, que são dispositivos que têm por fim proceder a condensação dos vapores leves que atingem o topo da coluna.

Após a condensação, tem-se o produto desejado com a composição especificada.

O cálculo de uma coluna, bem como dos reebulidores e condensadores tem, exatamente a finalidade de se ter um equipamento que possa produzir o produto com a concentração e quantidade desejadas.

Sistema de refluxo

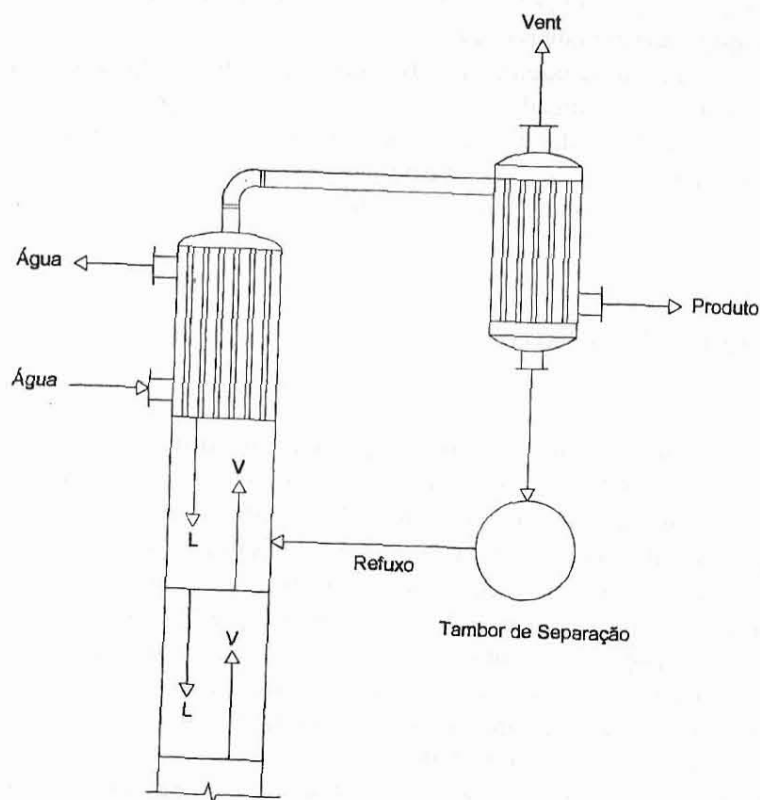
Junto aos condensadores existe, na maioria dos casos, um retorno de parte do condensado ou vapor rico em componente mais volátil, ao topo da coluna, o que se denomina refluxo. Este pode ser em forma de vapor parcialmente condensado ou líquido saturado a um dos pratos abaixo dos condensadores. O procedimento tem por fim enriquecer a cabeça (topo da coluna) em vapores bastante voláteis permitindo, assim, uma perfeita obtenção do produto denominado puro, na especificação desejada.

Cada empresa especializada em projetos de colunas tem sua técnica e métodos de cálculos, bem como de detalhe dos desenhos de todo o conjunto. Neste trabalho, procuramos simplesmente dar as informações básicas e essenciais aos técnicos que operam as colunas.

Mediante cálculos, pode-se definir o número de pratos das colunas, o número de borbulhadores, seu diâmetro e ranhuras, bem como o

diâmetro e altura da coluna, sistema de aquecimento, direto ou indireto, condensadores, refluxos e outros detalhes. Ou seja, o projeto detalhado de cada coluna.

Uma coluna, bem projetada, permite uma eficiência de até 90 a 95% de eficiência.



No caso do álcool carburante, o material utilizado na confecção das colunas são, geralmente, chapas de aço ao carbono, bem como na confecção dos borbulhadores. Exemplos mais esmerados são construídos em aço inoxidável em toda sua estrutura (figura 3).

Colunas de destilação de álcool

Nas colunas de destilação de álcool, os vapores de álcool são conduzidos para o topo da coluna até atingir a concentração desejada e o componente água não chega a evaporar, ficando cada vez mais pobre em álcool dirigindo-se, por gravidade, à base da coluna, formando o resíduo de processo (*vinhoto ou vinhaça*). Isto se passa na primeira coluna de destilação.

No topo da primeira coluna – denominada *coluna A* – se obtém a mistura água/álcool, cada vez mais rica em álcool.

O processo de destilação de álcool se passa como segue:

Após a fermentação, o vinho com 7 a 7,5% de etanol em peso, é bombeado para o setor de destilação para separar o álcool dos produtos secundários resultantes da fermentação.

A destilação do álcool é realizada em três etapas distintas:

1. separação inicial;
2. retificação;
3. desidratação.

Separação inicial

O vinho, proveniente dos fermentadores, passa preliminarmente pelos pré-aquecedores, para ser aquecido entre 50 e 60° C, e daí à coluna A, para desgaseificação e destilação primária, dirigindo-se o destilado a um condensador que pré-aquece o vinho que alimenta a Coluna A.

Nesta coluna é feita a separação: do *álcool bruto* resultando, no topo da coluna, vapores ricos em álcool e, na base, o vinhoto, também denominado vinhaça.

Na separação inicial (primeira concentração), obtêm-se vapores ricos em álcool, uma mistura de álcool/água (35 a 45% de etanol), denominados produtos leves, separando uma parte do metanol e, na base da coluna, os componentes pesados (óleo fusel) e vinhoto.

Os vapores ricos em álcool, saindo da *coluna A*, vão para a *coluna B*, para desgaseificação final e destilação primária.

Os vapores de álcool, saindo da *coluna B*, vão para a coluna de retificação final, *coluna C*.

Na fase de retificação é procedida a concentração do álcool até 96,4° GL, atingindo-se a concentração máxima de uma mistura azeotrópica (etanol - água), obtendo-se álcool hidratado.

O aquecimento da *coluna A* pode ser feito por aquecimento direto, na sua base, com vapor de aquecimento em contato direto com o vinho.

Técnicas mais modernas, pouco utilizadas no Brasil, adotam o aquecimento indireto que é realizado com auxílio de reebulidores sem contato do vinho com o vapor, o qual é condensado no reebulidor. São equipamentos mais sofisticados, de maior custo e muito utilizados na Europa e Estados Unidos.

A *coluna B* que alimenta a *coluna C* é aquecida com reebulidor para primeira retificação do álcool.

Na coluna de retificação *C* é feita a separação dos produtos secundários resultantes da fermentação, tais como álcool metílico ou álcoois superiores (constituintes do óleo fusel).

Na altura de 3/5 da coluna retificadora estão dispostos, em locais especificamente definidos, coletores para os produtos secundários, que são removidos dessa coluna e encaminhados para a coluna de tratamento de subprodutos *coluna D* (*coluna de lavagem*).

A coluna de lavagem é do tipo *coluna de recheio*. Nesta, está instalado, no seu topo, um distribuidor de água, através do qual ela é injetada para lavagem da referida coluna. Dessa forma, o álcool é absorvido, recuperado pela água e encaminhado à sua base, de volta à coluna de tratamento de subprodutos.

O *óleo fusel*, descartado no topo da coluna de lavagem, é enviado ao tanque de coleta. Esta coluna permite a recuperação dos principais produtos secundários resultantes da fermentação e a redução ao mínimo das perdas de etanol, no processo. Pode-se obter, assim, um álcool carburante de alta qualidade, isento de produtos secundários resultantes da fermentação.

No topo da *coluna C* obtém-se o álcool hidratado de primeira qualidade (mistura azeotrópica com 96,4° GL) e, da sua base, é removido o óleo que é conduzido à coluna de lavagem (*coluna D*), também denominada lavadora de *óleo fusel*.

Na fase de desidratação, o álcool hidratado é bombeado à área de desidratação, onde é tratado para eliminar a água incorporada à mistura azeotrópica; isto se faz mediante adição de um solvente que removerá a água, obtendo-se o álcool anidro (99,5% de etanol em peso).

Desidratação do álcool hidratado

A desidratação do álcool hidratado é realizado por técnicas de quebra de azeotropia com auxílio de solventes, benzina/benzeno e outros solventes.

O processo de desidratação é realizado em três colunas distintas e permite a obtenção do álcool desidratado, com concentração alcoólica superior a 99,5% em peso (graus GL), a partir do álcool hidratado a 94,6% (graus GL). O processo é contínuo, podendo receber vapores de álcool diretamente da *coluna C*, ou já condensado.

O álcool hidratado, a que nos referimos, é aquele na mistura azeotrópica definida de 94,6% em peso de álcool, cuja azeotropia somente é quebrada com auxílio de solventes orgânicos, tais como hexana, mistura benzeno/benzina e outros solventes. A mistura álcool/solvente forma uma segunda azeotropia, denominada ternária: “etanol-água-solvente”.

A instalação de desidratação e recuperação de solvente é constituída de duas colunas e um tanque de decantação:

Coluna de desidratação – coluna de recuperação de solventes e tanque de decantação.

As colunas são aquecidas com reebulidores. Basicamente, o processo de desidratação se realiza como segue:

Para a formação da mistura azeotrópica ternária “etanol-água-solvente”, é adicionado à coluna de desidratação (*coluna D*) o solvente, ou mistura de solventes (benzeno/benzina), juntamente com os condensados que retornam da coluna de recuperação (*coluna C*), em quantidades adequadas, previamente calculadas.

A instalação permite a produção do álcool anidro, quer seja a partir do álcool hidratado em forma de vapor ou já condensado. Quando se utiliza o álcool condensado haverá, evidentemente maior, consumo de vapor para torná-lo vapor novamente.

O uso do álcool na forma de vapor é o mais econômico e recomendável. Existem vários sistemas de arranjos físicos de alimentação da coluna de desidratação, dependendo do projeto da instalação.

A mistura azeotrópica ternária “etanol-água-solvente” é enviada ao separador/decantador (tanque de separação), onde a mistura mais densa, constituída de água-etanol, é decantada.

Na parte superior, a mistura rica em solvente é enviada novamente ao topo da coluna desidratadora. A fração inferior do decantador é constituída de etanol-água contendo pequena parte do solvente. Esta mistura é enviada continuamente à parte média da coluna de recuperação de solvente (*Coluna E*). O produto desidratado, com a concentração de 99,5% em peso de etanol, é obtido na base da coluna de desidratação e é transferido à área de tancagem, após resfriamento em trocadores de calor.

Desidratação do álcool com auxílio de peneira molecular

Pode-se obter, com auxílio da peneira molecular, a desidratação do álcool. Neste caso, não há qualquer insumo químico, obtendo-se o

produto final com alta pureza e, ainda, observa-se um menor consumo de energia no processo.

O princípio de desidratação do álcool, através da peneira molecular, está baseado na capacidade de adsorção seletiva do zeólito. Quando da passagem, de um fluxo de vapor contendo álcool + água (mistura azeotrópica), as moléculas de água são retidas na estrutura cristalina do zeólito. No Brasil, já estão sendo instaladas as primeiras unidades industriais e duas já estão em testes.

Qualidade do álcool obtido

A qualidade do álcool obtido nas destilarias nem sempre é constante, existem, às vezes, certas contaminações resultantes de vários fatores: instalação industrial, técnicas de trabalho, período de moagem das canas, até mesmo das leveduras de fermentação utilizadas.

Os álcoois nunca são puros; sempre apresentam contaminações, em menor ou maior escala, dependendo da matéria-prima utilizada, da sua maturidade, do processo industrial, do equipamento utilizado, e notadamente das técnicas de fermentação e do equipamento de destilação.

As principais impurezas nocivas ao álcool industrial, seja o álcool carburante como o denominado álcool fino, são: aldeídos, metanol, acidez, ésteres e óleo fusel. Este último é um contaminante altamente prejudicial tanto ao álcool carburante como o álcool fino.

É resultante de fermentações secundárias, bem como da decomposição fermentativa dos aminoácidos contidos no mosto, dentre eles a leucina, isoleucina, vanila etc. A composição básica do óleo fusel é de álcoois amílico, isoamílico e isobutírico, na sua maior parte. O restante é formado pelos álcoois propílicos: isopropanol e n-propanol.

O óleo fusel apresenta aroma acentuado, comunica ao teste organolético paladar desagradável e tóxico, em maiores concentrações. A presença desse óleo no álcool é geralmente resultante do processo inadequado da destilação e retificação ou mesmo de equipamento.

O seu resultado é indicado nos laudos de análise como “teor de óleo fusel” expresso em miligrama por litro ou teor de n-propanol, isobutanol e isoamílico etc.

A presença do óleo fusel no álcool hidratado não deve ser maior que 10,00 miligramas por 100 mililitros. As normas brasileiras limitam este valor em 6,00 miligramas por 100 mililitros para o álcool hidratado. O quadro 1 apresenta a composição básica do óleo fusel.

QUADRO 1 - COMPOSIÇÃO BÁSICA DO ÓLEO FUSEL

Componentes básicos	Em porcentagem (%)
Álcool Etilico	5,00
Álcool n – propílico	12,50
Álcool isobutílico	15,00
Álcool Amilico e isso-amilico	62,50
Resíduos de ponto de ebulição maior que 150 ° C	5,00

O óleo fusel é um subproduto resultante da destilação do álcool, usado como solvente na indústria e para obtenção de seus componentes puros. É usado também com essências aromáticas de frutas e, até mesmo, como aromáticos em produtos farmacêuticos. O seu volume de produção varia de 0,10 a 0,80% da produção do álcool.

A qualidade de um álcool qualquer, em primeiro lugar, está baseada na sua concentração alcoólica, que pode ser expressa em várias unidades:

1. Grau alcoólico Gay-Lussac (° GL)

Exprime o teor alcoólico (etanol) a 15 - 20°C (volume/volume), ou seja, é a quantidade, em centímetros cúbicos, de etanol absoluto contido em 100 mililitros da mistura hidro-alcoólica.

2. Grau alcoólico ° INPM (Instituto Nacional de Pesos e Medidas)

Exprime o teor alcoólico em peso/peso (é a quantidade, em gramas de etanol absoluto, contido em 100 gramas da mistura hidro-alcoólica). Unidade somente utilizada no Brasil.

Entende-se por álcool absoluto quando se tem 100% de etanol e por álcool anidro quando contem um teor alcoólico de 99,80 ° GL.

Aldeídos e acetaldeídos

Apresentam certas propriedades inadequadas ao álcool. O teor máximo admitido no álcool hidratado é de 6,00 miligramas por 100 mililitros e, no anidro, menor que 1,00 miligrama por 100 mililitros.

Os aldeídos nos álcoois para bebidas são prejudiciais, contudo certas bebidas alcoólicas indicam sua presença, notadamente nas aguardentes e runs que apresentam valores que variam de 200 a 400 miligramas por litro do álcool, a 100° GL, ou seja, do álcool antes do seu desdobramento. Após a composição final da bebida, o teor de aldeídos se reduz a um terço devido a diluição e sua presença não vai além de 70 a 130 miligramas por litro da bebida rotulada.

A presença dos aldeídos comunica às bebidas propriedades organoléticas e aromáticas, características a cada tipo de bebida. Os whiskys e vodkas exigem álcool da melhor qualidade e, assim, o teor de aldeídos atinge a faixa de 90 a 150 miligramas por litro do álcool, a 100° GL, resultando uma bebida com 30 a 50 miligramas por litro da bebida rotulada.

Bases voláteis

São componentes orgânicos voláteis: esterres, acetonas etc. Comunicam ao produto um “buquê” especial. São dosados e constantes dos laudos de análise como “bases voláteis”, expressos em miligramas por litro do álcool, a 100 ° GL.

Teor de acidez do álcool

É expresso em miligramas por litro, é dosado como ácido acético e comunica ao álcool carburante um poder corrosivo e ao álcool, bebida, um paladar picante, semelhante ao vinagre (ácido acético).

O teor varia de 2 a 20 miligramas por litro do álcool, a 100° GL, sendo que, quanto menor, melhor é o produto.

Nos laudos de análise, o teor é expresso em miligramas por 100 mililitros de ácido acético.

O valor máximo aceitável é de 3,00 miligramas por 100 mililitros no álcool carburante.

Naftas

São residuais de solventes utilizados como desidratantes do álcool anidro, tais como benzeno, benzina etc. São altamente prejudiciais ao álcool bebida (álcool potável), o qual não pode conter nem mesmo traços de nafta, pela sua toxicidade.

Extratos secos

São residuais originados da evaporação de um determinado volume do álcool. Referem-se a produtos orgânicos não evaporados em um "banho-maria". São determinados em miligramas por litro do álcool, a 100° GL.

Cinzas

São resultantes da combustão, em condições especiais, do extrato seco e são determinadas em miligramas por litro do álcool, a 100° GL. Quanto mais baixo é o seu valor, melhor é o álcool.

Metais pesados

Metais pesados, tais como cobre, chumbo e outros, são residuais resultantes do processo produtivo, no seu total, desde o preparo da matéria-prima até a destilação final. Podem surgir também de produtos químicos aplicados no processo produtivo, desde a moagem da cana, fermentação e, até mesmo, de desgaste do equipamento de processo. Ou, ainda, de

soldas, corrosões, material inadequado ao processo etc. Quanto menor é o teor de metais pesados, melhor é o álcool.

Geralmente, é dosado e expresso em miligrama por litro do álcool, a 100° GL ou em ppm (parte por milhão) do álcool com a concentração acima referida.

Normas para os álcoois

A experiência tecnológica dos países desenvolvidos fez com que os diversos produtos industriais fossem normalizados. As normas classificam os produtos de acordo com sua qualidade e, em função das mesmas, definem os preços dos produtos.

Países europeus, notadamente a Alemanha, a França, a Bélgica, a Itália, a Inglaterra, a Rússia e países socialistas, possuem as suas normas para os álcoois, especificamente os denominados álcoois finos destinados à industrialização de bebidas, perfumaria e indústrias farmacêuticas.

No Brasil, até o momento, as normas para os produtos alcóolicos são dirigidas para os álcoois carburantes e álcoois industriais.

A tecnologia alemã na área de álcool é muito avançada e atende a um mercado muito exigente onde as normas são praticamente seculares devido a tradição na industrialização de bebidas.

Na Alemanha, os álcoois são classificados em três tipos básicos:

Tipo técnico - que compreende o álcool bruto, impuro, destinado a posterior tratamento e refinação. É de baixo valor comercial.

Tipo IV - especifica o álcool refinado para fins industriais de bebidas finas, com ligeiro aroma resultante da matéria-prima utilizada. É destinado, pelas suas propriedades físicas, químicas e organolépticas, para fabricação de rum leve, whisky de cereais, vodka, gin e licores fortes, de alta categoria.

Tipo V - especifica o álcool retificado para perfumarias, fins farmacêuticos e toda linha de produtos finos.

O quadro 2 especifica os álcoois alemães:

QUADRO 2 - DEUTSCHE BUNDESMONOPOLVERWALTUNG FÜR BRANNTWEIN

Tipo de álcool	Álcool técnico	Tipo IV	Tipo V
Concentração alcoólica por volume °GL	94,4	96-97	96-97
Odor e paladar	Impuro	Aroma presente	Neutro
Aldeídos max. em mg/l	150	5	2
Ácidos voláteis max. em mg/l	10	5	2
Esteres max. em mg/l	--	250	50
Bases voláteis max. em mg/l	2	Nihil	Nihil
Metanol max. em mg/l	0,30	Traços	Traços
Resíduo de evaporação max. mg/l	20	15	10
Óleo Fusel mg/l	150	5	2

FONTE: GEBRÜDER, BECKER

Álcool carburante

As primeiras normas relativas ao álcool carburante no Brasil foram definidas em 1977, pelos órgãos já extintos do governo.

O Instituto de Álcool e Açúcar (IAA) emitiu a Resolução de número 01/77, em 12 de maio de 1977.

Posteriormente, o Conselho Nacional do Petróleo (CNP) emite a Portaria de número DAE -174 em 21 de setembro de 1977, que aprova a Resolução do IAA de número 01/77.

Pelos atos acima citados, foram definidos dois tipos de álcool carburante no Brasil e um tipo de álcool refinado:

1. álcool hidratado industrial;
2. álcool carburante;
3. álcool refinado.

QUADRO 3 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ÁLCOOL ETÍLICO (RESOLUÇÃO N.º 01/77 DO IAA DE 12.05.77)

ESPECIFICAÇÕES	ÁLCOOL Hidratado Industrial	ÁLCOOL Anidro Carburante	ÁLCOOL Refinado
Teor alcoólico mínimo INPM	93,80	99,30	94,20
Massa específica a 20 °C	0,8075	0,7915	0,7912
Componente não etanol em mg/100 ml INPM max.			
Matéria volátil	5,00	----	1,00
Acidez em ácido acético	3,00	3,00	1,50
Álcool metílico	1,00	---	0,20
Aldeídos em etanal	6,00	---	1,00
Ésteres em acetato de Etila	8,00	---	2,00
Álcoois superiores	6,00	---	1,00

A Portaria especifica os três tipos de álcool (Resolução n.º 01/77).

- 1 - Álcool hidratado industrial é aquele cujo teor alcoólico é de 93,80 em peso de etanol e o restante de água. É usado puro como combustível em motores de combustão interna.
- 2 - Álcool anidro é também denominado álcool carburante, é desidratado e apresenta concentração alcoólica superior a 99,30%, em peso de etanol; é empregado em mistura com a gasolina automotiva em proporções que variam de 15 a 25%, de acordo com as regiões produtoras e com os períodos de produção, de safra e entre-safra.

Medida de concentração alcoólica no Brasil

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM) classifica o álcool em toda mistura "etanol-água", expressando o resultado em "graus INPM", que define a concentração alcoólica em porcentagem em peso de álcool contido em 100 partes da mistura. A concentração é geralmente expressa em função da massa específica da mistura medida, na temperatura de 20° C. Tomando-se por exemplo, a massa específica

da mistura, na temperatura indicada, como sendo 0,7915, a tabela de concentração alcoólica indica o grau INPM como sendo 99,3, o que significa 99,3% em peso de etanol, indicando ser um álcool carburante anidro.

No caso da massa específica 0,8056 a 20° C, sua concentração expressa em INPM será de 94,50, ou seja, 94,50% de etanol em peso e o restante (5,5%) de água. Nesta concentração tem-se o álcool hidratado em condições de equilíbrio azeotrópico. É o álcool utilizado em motores de combustão interna, no estado puro, sem mistura com a gasolina. Este álcool é imiscível com a gasolina, separa em camadas.

Referências

- BARRON, H. *Distillation of Alcohol*. Louisville, ky: Joseph E. Seagran and Sons, 1944. p. 108.
- BILLET, R. *Industrielle destillation*. Alemanha: Verlag Chemie, 1976. 505 p.
- BRUCE, A. et al. *Biologia molecular da célula*. 3. ed. Porto Alegre: Ates Médicas, 1997. 1500 p.
- COULSON, J. M.; RICHARSON, J. F. *Chemical engineering*. [S.I.]: McGraw-1965. 975 p.
- HOPPE, K.; MITTELSTRASS, M. *Grundlagem der dimensionierung von Kolonne Böden*. Dresden: Verlag Theodor Steinkopff, 1978. 238 p.
- DESTILLATION der Maischen. Alemanha: Verlag Chemie, 1976. 238 p.
- HENGSTEBECK, R. J. *Destilación – principios y metodos de diseño*. México Compañia Editorial Continental S. A., 1975. 415 p.
- JACOBS, J. *Instalações de destilação e retificação*. Piracicaba: Jornal de Piracicaba, 1956. 138 p.
- FOUST, A. et al. *Principles of unit operations*. London: John Wiley & Sons, [19-] 578 p.

- LUDWIG, E. E. *Applied process design for chemical and petrochemical plants*. Texas, USA: Gulf Publishing Company Houton, 1968. v.1, 2 e 3, 847 p.
- PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. *Chemical engineers handbook*. 16 ed. Kogakusha: McGraw-Hill, 1976. 860 p.
- SHOVE, R. C.; GILLILAND, E. R. *Elements of fractional distillation*. New York: McGraw-Hill, 1975. 488 p.
- LIMA, L. R. *Elementos básicos de engenharia química*. [S.I.]: McGraw-Hill 1976. 412 p.

TANCAGEM DE ÁLCOOL

Considerações gerais

As destilarias de álcool possuem um sistema ou parque de tancagem para armazenar e controlar sua produção. São tanques metálicos de grande capacidade, geralmente de 5.000 a 15.000 metros cúbicos, totalizando o sistema, às vezes, com mais de 30.000 metros cúbicos.

Os tanques metálicos são de forma cilíndrica, com teto ligeiramente côncavo e base plana. São assentados sobre base de concreto com ligeira inclinação para escoamento. Internamente são revestidos de pintura anti-corrosiva e, externamente, recebem pintura de cor alumínio para maior reflexão do calor.

O seu diâmetro varia de 6 a 10 metros e a altura 1,2 a 1,5 vezes o seu diâmetro. Um sistema de tancagem, às vezes, conta com mais de 5 tanques, desde 2.000 até 5.000 metros cúbicos, os pequenos e 10.000 ou 15.000 metros cúbicos, os grandes.

O sistema de tancagem, também conhecido como tancagem, nada mais é que um parque de tanques de armazenamento final dos diversos produtos, em fase de transferência para negociação.

Os tanques são metálicos, feitos com chapas de aço ao carbono, soldados de acordo com as normas da ABNT e CNP. Devem comportar um estoque de produtos acabados que permita um fluxo de entrada e saída estrategicamente estipulados pelos projetistas, em função da capacidade produtiva, tendo-se em vista que o período de produção de uma Destilaria não vai além de 180 a 210 dias/ano.

As destilarias, estrategicamente, devem ter um parque de armazenamento com capacidade mínima de 45 a 60 dias de sua capacidade produtiva, não mais que isso, pelos elevados custos de investimento no mesmo e infra-estruturas necessárias.

Na tancagem armazenam-se inflamáveis, como é o caso do álcool e as normas exigem precauções condizentes com o grau de periculosidade.

Nos grandes volumes de inflamáveis armazenados, o risco de sinistro é sensivelmente aumentado e, conseqüentemente, os prêmios dos seguros também.

A localização de depósitos de combustíveis e derivados de petróleo é regulamentada pela Resolução n.º 8-71 de vinte e um de setembro de 1971, do Conselho Nacional do Petróleo, que prevê condições mínimas de segurança, afastamento e isolamento desses depósitos em relação às demais unidades da instalação e as vias públicas e propriedades adjacentes. A Resolução 8-71 substitui a Portaria n.º 32 de vinte e dois de maio de 1957, do mesmo CNP. A adoção da Resolução, acima mencionada, e as instruções gerais que a acompanham, sob a denominação de CNP-ABNT-IBP (PNB 216), são indispensáveis em qualquer projeto de armazenamento e de manipulação do petróleo e de seus derivados, incluindo o álcool carburante.

Também é útil ao projetista a norma NB da ABNT, que trata do armazenamento e manuseio de líquidos inflamáveis e combustíveis em geral.

Os depósitos de combustíveis e inflamáveis devem ocupar um local que facilite o acesso direto dos veículos de suprimento (caminhões

e vagões-tanque) à estação de descarga e que seja próximo dos pontos de maior consumo. As linhas de suprimento aos pontos de consumo devem ser curtas.

Um fator de grande relevância em um parque de tancagem é a escolha do local para a armazenagem dos inflamáveis. Além da área ocupada diretamente pelos tanques de armazenagem, é exigência do CNP a construção de diques de proteção de terra ou de muros de alvenaria ou concreto circunscrevendo cada tanque e todo parque de estocagem, quando os tanques ficarem acima do nível do solo.

Este dique ou muro de proteção formará uma bacia para contenção do produto no caso de ruptura ou vazamento dos tanques. O volume da bacia de contenção e a altura do dique ou do muro varia em função do volume dos tanques, de acordo com a norma PNB-216 que define as relações volumétricas das bacias de contenção.

A área de armazenamento de combustíveis a granel deve prever instalações de bombeamento para enchimento dos tanques e sistemas de bombeamento e medição volumétrica de carga e descarga. Em parques de tancagem de álcool carburante, quer seja hidratado ou anidro, todo trabalho é realizado em temperatura ambiente, não requerendo sistemas de aquecimento.

Nos parques de tancagem toda instalação elétrica deve ser à prova de explosão e a proteção contra descargas elétricas naturais far-se-á por meio de pára-raios especiais bem localizados, que incluam uma zona de influência à área de todo parque.

O sistema de aterramento (proteção catódica) de todos os reservatórios e equipamentos de bombeamento deve apresentar toda segurança sendo recomendável, também, um sistema de aterramento dos caminhões e carros-tanque de manobras (cargas e descargas).

Tratando-se de uma área de riscos e matéria bastante especializada, que requer absoluta segurança operacional, recomenda-se o contrato prévio de projetistas, consultores e eventuais empresas fornecedoras de equipamentos com muita tradição no ramo.

Geralmente, essas empresas dispõem, através de seus departamentos técnicos, de subsídios valiosos acumulados que permitirão dotar a indústria de um sistema de alta segurança nos armazéns de inflamáveis, com custos reduzidos.

A segurança contra incêndio deve ser muito grande nesses parques, porque se ocorrer em uma indústria deste porte provoca, além de sua paralisação mais ou menos longa, uma série de efeitos colaterais, desarticulando todo trabalho na destilaria e gerando um ambiente muito tenso entre seus funcionários.

Sob o ponto de vista econômico, o prêmio pago às seguradoras contra riscos de incêndio é tanto menor quanto maiores forem as precauções que tenham sido tomadas na implantação da indústria, dotando-a de instalações menos vulneráveis ao fogo e cercando-a de sistema adequado de alarme e proteção contra sinistros.

Todo e qualquer armazenamento de produtos gera determinados custos relacionados a:

- equipamento em si;
- manutenção e conservação;
- pessoal, salário e encargos sociais;
- capital, juros e depreciação.

Existem duas variáveis que aumentam estes custos, são a quantidade e o tempo de permanência dos produtos em estoque. Todos estes custos relacionados podem ser chamados de custos de armazenagem. São calculados baseados no estoque médio e, geralmente, indicados em porcentagem do valor em estoque (fator armazenagem).

Capacidade dos tanques

Geralmente, são vários tanques em um parque de tancagem e em uma destilaria, cada um com suas finalidades. São codificados como: T-10, T-20, T-30 etc.; T-100, T-200, T-300 etc. Os tanques de T-10 até

T- 90 são de pequena capacidade e, os codificados de T-100 até T-900, são de grande capacidade.

Os tanques de pequena capacidade, em geral são destinados a armazenagem de produtos de processo tais como: melaço, ácidos, anti-espumantes, desinfetantes, solventes etc. já os tanques de grande capacidade, são utilizados com produtos finais, seja álcool hidratado, anidro, refinado etc.

Cada tanque é dotado de certas peculiaridades e acabamentos, dependendo do produto a armazenar. Alguns recebem proteção interna anti-corrosiva, como para o álcool anidro e refinado. Externamente, recebem pintura de acabamento cor de alumínio, refletora de calor.

Perda por evaporação nos tanques

Todos os tanques, de qualquer capacidade, por mais bem projetados que sejam, apresentam perdas por evaporação. As perdas podem atingir de 2 a 3%, no período de 90 dias. Dependendo das instalações, esta perda pode atingir até mais de 5%.

São valores que devem ser cuidadosamente considerados, quando se trata de grande volume de estocagem.

Sistema de resfriamento dos tanques

Em regiões tropicais e semi tropicais, com grande incidência de calor e insolação, é recomendável a instalação de sistemas de resfriamento nos tanques. Existem vários sistemas, desde os mais simples até os mais complexos.

Os mais simples são feitos geralmente com aspersão de água, em forma de chuveiro, no seu topo. A água aspergida é distribuída em forma de filme e evapora-se facilmente. Não é necessário grande volume de água.

Termodinamicamente falando, a evaporação é um fenômeno endotérmico (provoca abaixamento da temperatura).

Pode-se até instalar sistemas programados para funcionar nas maiores temperaturas da superfície do tanque. No topo, instala-se um termostato que age em função da temperatura. Ou, ainda, pode ser instalado um sistema totalmente automático, sem interferência do homem.

A perda por evaporação é reduzida sensivelmente com o sistema de resfriamento.

Referências

NELSON, W. L. *Petroleum refinery engineering*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1975. 715 p.

OLIVERIO, J. L. *Projeto de fábrica*. [S.l.]: Instituto Brasileiro do Livro Científico Ltda. – IBLC, 1985. 489 p.

PERRY, J. H. *Chemical engineers' handbook*. 3. ed. McGraw-Hill, 1950.

TELLES, P. C. S. *Tubulações industriais*. 6. ed. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos S. A., 1982. 368 p.

VALLE, C. *Implantação de indústrias*. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos S. A., 1975. 337 p.