



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

FERMENTAÇÃO DE CALDO DE CANA EM MICRODESTILARIA

M. L. BEGNINI¹, D. B. FURTADO², G. W. LÚCIO², D. I. NETO², S. M. FERNANDES³ e J. R. D. FINZER¹

¹ Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

² Universidade de Uberaba, Faculdade de Engenharia Química

³ Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia de Produção

E-mail para contato: gestor.engenhariaquimica@uniube.br

RESUMO – *Este trabalho teve o objetivo de operar uma Microdestilaria de Álcool Combustível automatizada usando Programmable Logic Controller (PLC), contendo os equipamentos principais: moenda, dorna de fermentação, centrífuga, tanque de vinho e coluna de destilação. Processou-se caldo de cana-de-açúcar alimentado a 21° Brix. O caldo bruto foi submetido a tratamento térmico na temperatura de 105°C e resfriamento até a temperatura de 30°C antes da fermentação. Efetuou-se a fermentação usando levedura Saccharomyces cerevisiae, preparada na proporção de 30% de solução de fermento e 70% de caldo. A fermentação foi realizada em dornas com capacidade de 45 litros sendo fermentado 34 litros de mosto. Após 12 horas de fermentação o vinho foi destilado em uma coluna de 30 pratos perfurados sendo obtidos os resultados: etanol a 64° GL a 27°C e 5° Brix na solução residual. A coluna de destilação é subdividida em 3 partes: caldeira, coluna A e coluna B.*

1. INTRODUÇÃO

Em meio a tantos temas referentes à sustentabilidade e analisando do ponto de vista político-financeiro, são de amplo interesse mundial a produção e o desenvolvimento de biocombustíveis. A atual política energética visa reduções significativas da emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Nessa linha, uma das melhores opções de combustíveis renováveis é o etanol, também conhecido como álcool etílico (Santos, 2011). No Brasil, o etanol, é largamente produzido do caldo da cana-de-açúcar, fermentação e destilação.

Para o Brasil atender demandas de produção de etanol cada vez maiores em espaço de tempo reduzido, técnicas de produção são constantemente aprimoradas no intuito de otimizar custos e tecnologia para oferta crescente do produto. Assim, engenheiros capacitados são de suma importância para a instalação de destilarias autômatas com o fim de viabilizar essa oferta com otimização de custos financeiros (Barral e Pereiralima, 2001).

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO



Deve-se ressaltar que estudar a produção de álcool combustível em microdestilarias automátatas pode possibilitar a obtenção de dados (como temperatura e pressão em cada prato da coluna de destilação); e resultados relevantes (por exemplo, a influência da relação de refluxo na concentração do destilado) operando em pequena escala. Além disso, viabilizar a redução de custos na produção de etanol em grande escala, identificando falhas processuais na pequena escala (por exemplo, perda exagerada de etanol no produto de fundo da coluna). As microdestilarias têm seus estágios processuais como as de uma manufatura de larga escala, e representa todo o processo de produção de etanol, abrangendo as etapas de extração e tratamento de caldo, fermentação e destilação.

A Microdestilaria de Álcool Combustível Automatizada, usada neste trabalho, está instalada no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI/FIEMG) na cidade de Uberaba – MG. Seu funcionamento engloba o controle de todo o processo com utilização de sensores, motores, válvulas, bombas centrífugas, sendo tudo monitorado via lógica de PLC (*Programmable Logic Controller*) no qual se torna fácil acompanhar, monitorar e controlar todas as fases do processo. A unidade possui uma capacidade de produção diária de 8 L e é suportada por barras de alumínio estruturadas de 45x90 mm e 45x45 mm reforçadas. Os reservatórios foram construídos em aço inox 316 polido e com espessura de 3 mm.

Neste trabalho objetiva-se estudar o processo da síntese de etanol em uma microdestilaria automática para obter dados tecnológicos, de modo a possibilitar o controle e a supervisão em todas as fases do processo, evitando assim, perdas de rendimento ou retrabalho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparação da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar foi colhida na zona rural de Pirajuba-MG, por corte manual da mesma. Para a assepsia, inicialmente retirou todas as folhas e sujeiras da cana e, em seguida foi feita a limpeza com água corrente (FINZER, 2007). Após ter sido limpa, a cana foi moída em uma moenda doméstica (Figura 1). Com a moagem da cana obteve-se o caldo de cana mais o bagaço, onde o caldo seguiu para o tratamento.



Figura 1 - Moenda Doméstica Convencional.

2.2. Unidade experimental

A microdestilaria (Figura 2), foi utilizada para o estudo do processo da síntese do etanol.



Figura 2 - Microdestilaria Senai/ Uberaba

O fluxograma (Figura 3) possibilita uma visualização de cada componente da microdestilaria e do escoamento de correntes do processo.

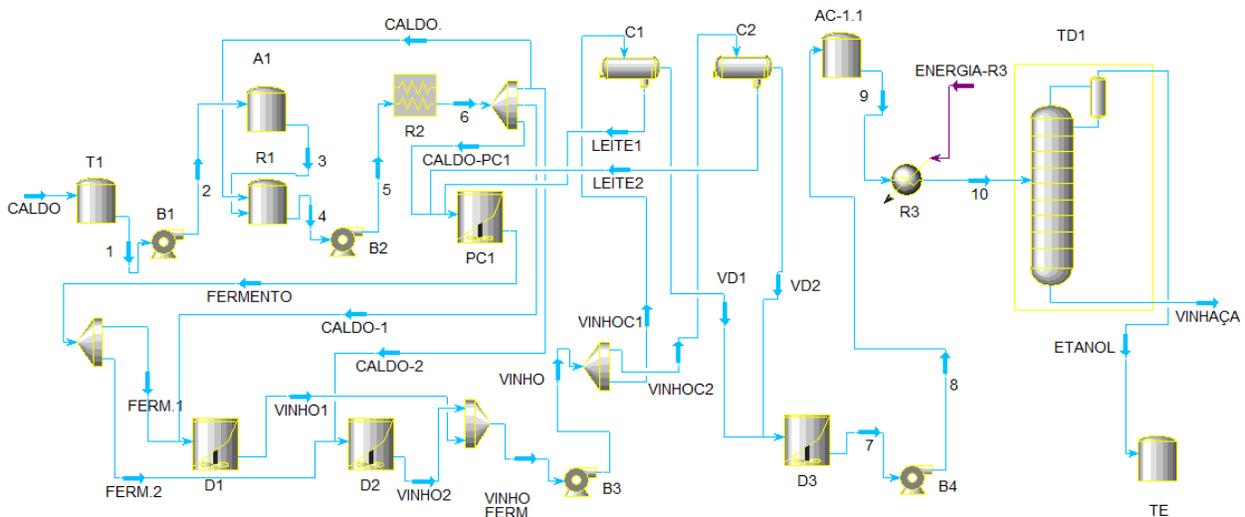


Figura 3 - Fluxograma da Microdestilaria.

O caldo obtido na moagem foi enviado a cuba de tratamento de caldo (T1) para decantação de impurezas. O Brix quantificado da solução a ser diluída foi de 21° . Para que as leveduras possam atuar é necessário que haja a diluição desse caldo, denominado mosto. O mosto, então, é o caldo açucarado diluído que está apto a sofrer fermentação. Utilizou-se o Diagrama de Cobenze (Figura 4) para cálculo de diluição e obter um Brix desejado de 16° (Junior, 2009). Nesse diagrama, a e b representam Brix do caldo e da água respectivamente e, m Brix desejado, sendo A massa do caldo, B massa da água, C volume de caldo e ρ densidade do caldo.

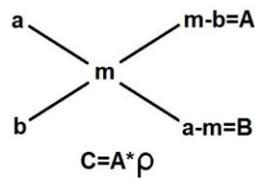


Figura 4 - Diagrama de Cobenze

Após o tratamento e diluição do mosto, o mesmo é enviado pela bomba centrífuga (B1) até a cuba de aquecimento (A1). Na cuba de aquecimento (A1) a temperatura do mosto é elevada até 105° C por uma resistência de 5000 W instalada na mesma. O aquecimento é fundamental para a assepsia e também ajuda na clarificação do mosto. Posteriormente, o mosto foi enviado para a cuba de pré-resfriamento (R1), e transferido pela bomba centrífuga (B2) para o trocador de calor (R2) para que a temperatura reduzisse para 30° C. Em seguida, parte do mosto foi encaminhado para o pé-de-cuba (PC1), sendo preparado o fermento. O restante do mosto foi enviado para as dornas (D1 e D2) por ação da gravidade.

2.3. Fermentação

Assim que o caldo resfriado chegou ao pé-de-cuba (PC1), a levedura *Saccharomyces cerevisiae* foi adicionada ao mosto na proporção de 30% de solução de fermento e 70% de caldo. Após essa etapa o mosto com o devido fermento foi enviado as dornas (D1 e D2) para fermentação. Ambas as dornas têm capacidade de 45 L sendo fermentado 34 L de mosto.

O mosto levedurado proveniente do pé-de-cuba foi adicionado ao já presente mosto nas dornas (D1 e D2) para o início do processo fermentativo. A temperatura da fermentação foi controlada entre 28 e 32° C. A partir de 6 horas de fermentação, começou-se a medir o Brix da mistura para que se pudesse determinar a finalização da mesma. Posteriormente a fermentação, o vinho levedurado foi enviado às centrífugas (C1 e C2) pela bomba centrífuga (B3) para a recuperação do fermento utilizado, prevenindo incrustações ao longo da obtenção de etanol.

Durante o processo, centrifugou-se uma dorna por vez, já que o sistema possui apenas uma bomba para o transporte do vinho levedurado para as centrífugas (C1 e C2). Centrifugou-se primeiro o conteúdo da dorna (D1) e posteriormente a dorna (D2). O leite de leveduras, que consiste no

centrifugado foi encaminhado para o tanque de pé-de-cuba (PC1) para tratamento e posterior utilização em outro processo de fermentação.

O vinho delevedurado foi encaminhado para a dorna (D3) que funciona como uma dorna volante, alimentando continuamente o sistema de destilação. A bomba centrífuga (B4) transportou o vinho delevedurado para tanque acumulador (AC-1.1). Esse tanque alimenta continuamente, por gravidade, o sistema de pré-aquecimento (R3) de vinho e posteriormente a coluna de destilação do etanol. A coluna de destilação é subdividida em 3 partes: caldeira, coluna A e coluna B, contendo 30 pratos perfurados.

2.4. Determinação dos Açúcares Redutores

A determinação dos açúcares redutores foi realizada pelo método do DNS (ácido 3,5- dinitro-salicílico). Inicialmente, separou-se 7 tubos de ensaio e em seguida adicionou-se 1 mL, 0,8 mL, 0,6 mL, 0,4 mL e 0,2 mL de solução padrão de glicose de 1 g/mL, com o objetivo de se obter concentrações de 1 g/L, 0,8 g/L, 0,6 g/L, 0,4 g/L e 0,2 g/L. Para o preparo do branco adicionou-se 1 mL de água destilada ao invés da solução padrão. Para a amostra desconhecida utilizou-se 1 mL da amostra conveniente diluída. Logo após, completou-se o volume dos tubos com água destilada para se obter o volume de 1 mL em todos os tubos e, adicionou-se 0,5 mL do reagente DNS em todos os tubos. Aqueceu-se os 5 tubos em banho Maria a 100° C durante 5 minutos. Resfriaram-se os tubos em água fria e completou-se com 8,5 mL de água destilada. Em seguida leu-se a absorbância em um espectrofotômetro no comprimento de onda de 540 nm.. Para a construção da curva padrão de glicose, foram plotados os dados de Absorbância \times Concentração. Para isso é necessário o uso da Lei de Beer para fazer a transformação de %T em Abs., conforme a Equação 1:

$$Abs. = - \log (\%T) \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fermentação

Para a determinação da quantidade de água a se adicionar para adequação do mostro pela atuação da Diagrama de Cobenze, atribuiu-se os seguintes valores: Brix do caldo (a): 21°; Brix da água (b): 0; Brix desejado (m): 16°; densidade do caldo (ρ): 1,2 kg/L. Com isso, obteve-se valores de volume de água (B): 5 L; volume de caldo (C): 19,2 L. De posse desses dados e o uso de um cálculo de proporção, foi necessário a adição de 7,2 L de água para a diluição de um volume de caldo bruto de 27,5 L, obtendo assim, 34,7 L de caldo.

Visando a eliminação dos microrganismos contaminantes, o caldo bruto foi submetido a um tratamento térmico na temperatura de 105°C. Após o aquecimento, o caldo tem suas impurezas removidas por decantação. Resfriou-se o caldo até a temperatura de 30°C antes da fermentação.

Os fermentos ou pés-de-cuba são o inóculo inicial. Para formação do pé-de-cuba no procedimento experimental em questão, foi utilizado fermento desidratado *Fleischmann* que é constituído de células de levedura *S. Cerevisiae*, contendo 30-32% de massa seca e viabilidade celular acima de 95% (Oliveira, 2013). A preparação do inóculo teve como etapa inicial a hidratação do fermento seco *Fleischmann* e adição de mosto pré-tratado na proporção de 30% de solução de fermento e 70% de mosto. Seguindo o processo de hidratação da levedura comercial, juntou-se 500 g do mesmo, a 5 L de água. Em seguida, deixou-se a solução descansar por 15 minutos e juntou-se ao mosto. O mosto levedurado foi acrescentado ao mosto presente nas dornas, dando assim, início ao processo fermentativo.

A temperatura da fermentação foi controlada entre 28 à 32°C a partir do escoamento de água fria interno à serpentina instalada no interior das dornas. Após 12 horas de fermentação, utilizou-se de um refratômetro para a medição do Brix do vinho. O Brix obtido foi de 5° e, pH de 3,5 com uma temperatura de solução de 28°C e um volume de 34 L. O vinho foi destilado em uma coluna de 30 pratos perfurados sendo obtidos os resultados: etanol a 64° GL a 27°C e 5° Brix na solução residual.

3.2 Determinação dos Açúcares Redutores

Para a determinação dos açúcares redutores, utilizou-se do método DNS. O método consiste em construir uma curva padrão de glicose, plotando absorvância x concentração e, através do método de regressão linear, determinou-se a equação da reta e o coeficiente de correlação. O resultado dos dados obtidos na prática durante a construção da curva padrão pode ser obtido na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados da curva de calibração

Conc. (g/L)	% T	Abs
1,0	13,7	0,863
0,8	19,9	0,701
0,6	32,0	0,495
0,4	46,8	0,330
0,2	78,9	0,103

A Equação 2 fornece a equação da reta obtida por regressão linear, sendo x a concentração de açúcares redutores (AR) e Y a absorvância ($R^2 = 0,994$):

$$Y = 0,8966 (x) - 0,033 \quad (2)$$

Com a Equação 2 pode-se calcular a concentração da amostra desconhecida em que também foram analisadas a %T: 21,9 e a Abs.: 0,660. Quantifica-se com esses dados a concentração da amostra desconhecida em 0,772 g/L de glicose na amostra.

Para a determinação de sacarose na amostra, utilizou-se a relação entre a proporção de sacarose e glicose. De posse da concentração de glicose da amostra, obteve-se 1,47 g/L de sacarose na amostra. Sendo assim, o resultado total de sacarose presente em 27,5 L é de 40,360 g. O valor obtido de Açúcares Redutores (AR) fornecido pela Equação 3, foi de 42,483 g.

$$AR = \frac{\text{Sacarose}}{0,95} \quad (3)$$

Para cálculo do ART (Açúcares Redutores Totais) leva-se em consideração a somatória de todos os açúcares presentes na cana-de-açúcar (Glicose, Frutose e Sacarose) na forma de açúcar redutor (desdobrado pela hidrólise), como mostrado na Equação 4.

$$ART = \frac{\text{Sacarose}}{0,95} + \text{Glicose} + \text{Frutose} \quad (4)$$

De posse do valor calculado da quantidade de AR, e o uso de proporção estequiométrica, obteve-se 21,242 g de glicose em 27,5 L de caldo. Admite-se que os valores de glicose e frutose no caldo utilizado na experimentação são iguais. Logo o valor de ART é de na solução é de 84,967 g. Portanto, o caldo processado foi proveniente de cana-de-açúcar já parcialmente invertida.

3.3. Destilação

O vinho proveniente do tanque acumulador foi aquecido a uma temperatura de 50°C pelo pré-aquecedor sendo alimentado na torre de destilação pela parte superior da coluna A. Em seguida, o vinho alimentado escoou até a caldeira onde foi aquecido até 78°C. Depois da condensação da solução de etanol destilado, o mesmo foi direcionado ao tanque acumulador de álcool para refluxo (TR). A partir deste tanque o etanol foi direcionado para o refluxo ou para o tanque acumulador de etanol (TE) utilizado para armazenar e retirar o etanol concentrado do processo. Após a retirada do etanol do tanque acumulador (TE), o mesmo foi adicionado a uma proveta de 500 mL e medida sua temperatura. Posteriormente a medição da temperatura, mergulhou-se o alcoômetro na solução para que pudesse obter sua concentração alcoólica e assim prosseguir com os cálculos para interpretação dos resultados. Os resultados obtidos foram: etanol a 64° GL a 27°C e 5° Brix na solução residual.

4. CONCLUSÃO



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

Os resultados obtidos neste trabalho foram obtenção de destilado com concentração de etanol de 64° GL a 27° C e 5 Brix na solução residual.

O caldo de cana processado apresentou AR da mesma ordem de grandeza do ART, o que mostra que o caldo processado se encontrava 50% invertido.

Os dados obtidos via cálculos e resultados experimentais da planta piloto automatizada são úteis para operação e produção em unidades ampliadas.

5. REFERÊNCIAS

BARRAL, M., & PEREIRALIMA, P. (2001). Automação e controle de Processos Fermentativos. Em *Biotecnologia Industrial: Engenharia Bioquímica* (p. 397 - 424). São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

FINZER, J. R. D. *Fabricação do Açúcar e do Álcool*. Uberaba: FAZU, 2007. p. 70.

OLIVEIRA, T. A. Aumento na produção de biomassa de levedura em propagador aerado por processo descontínuo e semicontínuo para produção de cachaça. *Braz. J. Food Technol.*, vol.16, 2013. Campinas abr./jun. 2013.

SANTOS, R. E. R. *Análise da viabilidade energética e econômica da produção de etanol em microdestilarias*. Itajubá, 2001. p. 128.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI. *Descritivo Operacional de Automação do Sistema de Controle da Microdestilaria de Álcool Combustível – Etanol*. Aracajú. 66 p.

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pelo suporte dado à apresentação deste trabalho no COBEQ 2016.

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO

