

2024

RENDIMENTO FERMENTATIVO



Andrietta
Soluções em Bioprocessos

Silvio Roberto Andrietta

ANDRIETTA – BioTech

28/4/2024

Cálculo do rendimento fermentativo por balanço de massa

1. INTRODUÇÃO

Rendimento é o parâmetro utilizado para a avaliação de um processo que envolve uma conversão ou bioconversão de um determinado reagente em um produto desejado. Este parâmetro é definido como sendo a relação entre a massa de produto obtido pela massa de reagente consumido vinculado com um fator estequiométrico. Desta forma, a determinação mais adequada de rendimento fermentativo é aquela que leva em consideração a massa de etanol produzido e a massa de ART (açúcares redutores totais) alimentada ao processo. Nesta forma de cálculo temos a relação direta do produto de interesse (etanol) e do reagente utilizado (ART).

Apesar de ser a forma mais adequada para se determinar o rendimento fermentativo, este tipo de cálculo é pouco utilizado nas unidades industriais devido à grande oscilação observada nos seus valores diários. Esta oscilação tem várias causas, sendo as mais importantes: erro na determinação dos volumes de mosto, vinho e fermento, erros nas análises de concentração de ART e etanol, problemas de amostragem, principalmente do mosto, devido a sistema de amostragem que geram amostras não representativas e erros na determinação da variação de álcool em processo.

Mitigar estes erros e obter um valor de rendimento fermentativo que represente de forma confiável o processo de fermentação alcoólica é de suma importância para a avaliação de desempenho do processo. O objetivo deste trabalho é propor um protocolo que permita a obtenção do rendimento fermentativo por balanço de massa, utilizando o menor número possível de variáveis, tornando-o menos suscetível a erros e portanto, mais confiáveis.

Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é avaliar se esta metodologia de cálculo de rendimento é precisa o suficiente para determinar variações de desempenho do processo por alterações nas condições operacionais. Neste estudo em questão, pretende-se determinar a variação de desempenho do processo em função da variação populacional das cepas de

levedura presente no processo. Para tanto, este trabalho foca na precisão e não na exatidão, ou seja, pretende-se obter um padrão de valores obtidos com uma determinada linhagem e estudar a variação deste valor com a entrada de uma outra cepa, independente da grandeza do mesmo, ou seja, mesmo que a linha de operação oscile distante do valor de 90% esperado, o que será avaliado é a variação dos valores de rendimento fermentativo com a alteração na população de cepas presente no processo.

Quanto menor for a amplitude da variação dos valores contidos na linha utilizada como padrão, maior a chance de se obter êxito na determinação das variações devido a troca das linhagens em processo.

2. Metodologia de cálculo

Geralmente nos processos operando em batelada alimentada, o balanço de massa para obtenção do rendimento fermentativo utiliza as medições das dornas e cubas para determinar os volumes de vinho, mosto e fermento tratado que por sua vez são utilizados na determinação de etanol produzido e ART alimentado ao processo. Este tipo de determinação utiliza uma grande quantidade de medidas e análises, aumentando a probabilidade de ocorrência de erros que refletiram no resultado de rendimento obtido. Nos processos operando de forma contínua, o cálculo de rendimento fermentativo por balanço de massa não pode ser realizado sem a utilização de medidores de vazão.

A forma de cálculo proposta neste trabalho visa diminuir o número de variáveis utilizadas na determinação seja a menor possível. Neste cálculo, utiliza-se o valor de etanol produzido fornecido pelo controle de produção, cuja medida é muito confiável, pois, se trata da medição de um produto final. Com isto, não é necessário a determinação do volume de vinho e fermento tratado e nem mesmo as análises de etanol nestes produtos para a determinação do volume de álcool produzido na fermentação, que depende somente do volume de álcool produzido, etanol perdido na vinhaça e variação de etanol em processo. Para a obtenção da massa de ART alimentada ao processo é necessário a determinação do volume de mosto que será obtido de diferentes formas, utilizando-se um medidor de vazão e medição das dornas e cubas, e a concentração de ART no mosto. Nestas duas medições é que pode ocorrer erros e para evitá-los deve-se tomar alguns cuidados os quais serão descritos a seguir.

Uma outra vantagem desta forma de cálculo está no fato de que a mesma pode ser utilizada para obter o rendimento fermentativo tanto de processos operando de forma contínua como batelada alimentada, facilitando assim a comparação entre o desempenho dos dois tipos de processo.

3. Determinação do volume de etanol produzido na fermentação

A produção de etanol na fermentação será calculada utilizando a produção de etanol diária obtida pelos tanques e/ou medidores de vazão, transformada em etanol a 100%, utilizando a concentração deste componente nos produtos: hidratado e anidro.

CUIDADOS:

- Deve-se utilizar as produções de etanol anidro e hidratado diárias
- A média diária de concentração de etanol nestes produtos deve ser utilizada para transformar a produção em etanol a 100%.
- O volume de produção de etanol obtido pela medição dos tanques medidores e/ou medidores de vazão deve ser aferido pelos tanques de estocagem
- A produção de etanol total deve vir sempre da unidade de fermentação que está sendo avaliada. Unidades que possuam plantas de etanol de milho ou de segunda geração ou ainda processamento de etanol de outras unidades devem garantir que são capazes de medir separadamente o etanol produzido na unidade a ser avaliada.

4. Determinação da massa de ART alimentado ao processo fermentativo

A determinação da massa de ART alimentada ao processo de fermentação será determinada utilizando o volume de mosto acumulado nas 24h e as análises médias de ART (açúcares redutores totais) do mosto.

4.1. Determinação do volume de mosto acumulado nas 24h

O volume acumulado de mosto será determinado de duas formas diferentes: pelos medidores de vazão e pela medição das dornas e cubas.

4.1.1. Determinação do volume de mosto utilizando medidores de vazão

A determinação do volume de mosto por medidor de vazão é realizada pelo totalizador do equipamento. A utilização deste método de medição requer alguns cuidados que devem ser levados em consideração para tornar as medidas mais exatas possíveis.

CUIDADOS

- Os medidores de vazão devem ser instalados de forma correta, garantindo que estejam sempre afogados e respeitando a distância em trecho reto na entrada e saída do mesmo recomendada pelos fabricantes.
- A velocidade nos medidores de vazão devem estar entre 2,5 a 4 m/s para um funcionamento adequado do equipamento. Assim, geralmente estes estarão instalados em trechos de tubulação com diâmetro menor que o nominal da linha. Atentar para o fato que em plantas cuja produção está muito abaixo da nominal, pode ser que esta velocidade não seja atingida.
- É interessante que se tenha em linha outros medidores de vazão que permitam a avaliação do funcionamento do medidor principal.
- Os medidores devem estar calibrados e instalados em linhas que permitam sua limpeza no local, utilizando algum fluído de limpeza, tal como a flegamaça.
- Deve-se atentar para a forma que está sendo feito a totalização da vazão, pois, alguns métodos podem levar a erros no valor final.

4.1.2. Determinação do volume de mosto utilizando medição de dornas e cubas

Neste método de determinação do volume de mosto, utiliza-se o volume da dorna no final da fermentação e o volume da cuba enviada para esta dorna. O volume de mosto é dado pela diferença entre o volume de vinho (dorna) e o volume de fermento tratado (cuba) acumulado de 24h. O valor do volume acumulado de 24h de vinho (VVAc24) é obtido pela equação (1)

$$VVAc24 = \sum_{i=1}^n VD_i + VDPH - VDPO \quad (1)$$

Onde: n – número de dornas processadas no dia

VD_i – Volume de vinho contido em cada dorna processada

VDPH – Volume de vinho em processo hoje

VDPO – Volume de vinho em processo ontem

O volume de fermento tratado acumulado de 24h (VFTAc24) é obtido como descrito pela equação (2)

$$VFTAc24 = \sum_{i=1}^m VC_i + VCPH - VCPO \quad (2)$$

Onde: m – número de cubas processadas no dia

VC_i – Volume de fermento tratado contido em cada cuba processada

VCPH – Volume de fermento tratado em processo hoje

VDPO – Volume de fermento tratado em processo ontem

O volume de mosto acumulado em 24h (VMAc24) é dado pela equação (3)

$$VMAc24 = VVAc24 - VFTAc24 \quad (3)$$

CUIDADOS

- Os volumes das dornas e cubas podem conter erros, sendo eles obtidos por medida direta ou por transmissores de níveis. Ao se utilizar os transmissores de nível, deve-se ter certeza de que estão bem calibrados e que representem realmente os volumes das dornas e cubas, sendo este cuidado ainda mais relevante quando se trata de tanques com fundo cônico.

4.2. Determinação da concentração de ART no mosto

Esta variável é muito importante na determinação do valor de rendimento fermentativo e sua precisão depende não somente dos métodos e cuidados analíticos, mas também da forma que as amostras foram coletadas e armazenadas.

4.2.1. Amostragem do mosto

A amostragem do mosto deve ser realizada de forma que seja representativa e mantenha suas características durante o armazenamento até a realização da análise. Para tanto, recomenda-se que seja feita de forma contínua e ponderada à vazão de mosto, ou seja, uma amostra de volume fixo seja coletada de um dado volume de mosto. Por exemplo: se a vazão da linha de mosto é $100 \text{ m}^3/\text{h}$ e se deseja recolher uma amostra a cada 10 m^3 de mosto, 10 amostras de mesmo volume devem ser recolhidas em uma hora. No caso de a vazão ser de $200 \text{ m}^3/\text{h}$, o número de amostras deve ser 20. Estas amostras devem ser resfriadas no momento da coleta e conservadas a temperaturas entre 2 e 4°C .

CUIDADOS

- As amostras devem ser acondicionadas em recipientes limpos e secos. Para tanto, recomenda-se que ao se recolher a amostra composta, deve-se trocar o recipiente coletor, levando aquele que contém a amostra para o laboratório, substituindo-se o mesmo por outro limpo e higienizado.
- O período máximo de composição de amostra deve ser de 4 horas, para evitar problemas de conservação.
- Para uma maior representatividade, pelo menos 6 análises devem ser realizadas em um período de 24h, ou seja, no mínimo uma a cada 4 horas.
- As amostras devem ser resfriadas imediatamente após terem sido colhidas, mantendo a temperatura do frasco coletor sempre na faixa de 2 a 4°C .
- Os recipientes coletores devem ser de material bom condutor de calor (alumínio, cobre) para facilitar o resfriamento da amostra.

4.2.2. Análise das amostras de mosto

A determinação da concentração de ART (açúcares redutores totais) do mosto pode ser feita por diferentes metodologias e os resultados fornecidos em unidades $\%(\text{peso/peso})$ ou $\%(\text{peso/volume})$. É importante frisar que a unidade é função da forma que se dá o início da diluição: se utilizar uma massa de amostra a unidade será $\%(\text{peso/peso})$ ou se usar um volume de amostra a unidade será $\%(\text{peso/volume})$.

PROTOCOLO DE CÁLCULO DE RENDIMENTO FERMENTATIVO POR BALANÇO DE MASSA

As metodologias que utilizam licor de Fehling, tais como a de Lane-Eynon não são capazes de diferenciar substâncias redutoras não açúcares dos açúcares redutores, dando como resultado a concentração de substâncias redutoras totais (SRT), cujo valor é maior que a concentração de açúcares redutores totais (ART), levando a valores de rendimento fermentativo menor que o real. Estas metodologias dependem muito do analista e podem apresentar erros do tipo randômicos.

A utilização dos métodos cromatográficos com detector eletroquímicos ou índice de refração são capazes de fornecer as concentrações dos açúcares fermentescíveis (sacarose, glicose e frutose) com os quais se calcula a concentração de ART. Estes métodos são precisos, mas exigem uma diluição elevada da amostra o que pode provocar erros nas determinações. Para este tipo de análise, recomenda-se congelar as amostras e analisá-las todas de uma vez, injetando uma curva de calibração a cada 4 determinações e realizadas por um único analista. Os detectores eletroquímicos são mais precisos para carboidratos, no entanto, exigem uma maior diluição da amostra e apresentam mais problemas na operação.

Análises utilizando equipamentos de infravermelho próximo (NIR) ainda não foram avaliadas para esta aplicação, sendo necessário uma avaliação mais criteriosa dos resultados fornecidos por estes equipamentos frente aos métodos convencionais. Como dependem de uma curva de calibração e são afetados pela variação da matriz analisada, este método ainda carecem de um maior acompanhamento.

5. Metodologia de cálculo

Independente dos métodos utilizados para a determinação de volume de mosto e concentração de ART do mosto, os cálculos utilizados para a determinação do rendimento fermentativo estão mostrados a seguir.

Determinação do álcool produzido na fermentação (EPF)

$$EPF = \left(\frac{PR100 * 100}{RD} \right) \pm VProc$$

Onde: PR100 – Produção diária de álcool a 100% (m3)

RD - Rendimento da destilaria (%)

VPC - Variação de álcool em processo na fermentação (Hoje – ontem) (m3)

Determinação da massa de ART enviado para a fermentação (MA_ART_FE)

a) Para concentração de ART do mosto em %p/p:

$$MA_ART_FE = VO_MO * \left(\frac{ART_MO}{100} \right) * D_MO$$

b) Para concentração de ART do mosto em %p/v:

$$MA_ART_FE = VO_MO * \left(\frac{ART_MO}{100} \right)$$

Onde: VO_MO – Volume de mosto acumulado em 24 horas (m3)

D_MO - Densidade do mosto em (ton/m3)

ART_MO – Concentração de ART no mosto

Determinação do rendimento fermentativo (EF_FE)

$$EF_{FE} = \frac{EPF * 100}{MA_{ART_{FE}} * 0,6475}$$

Onde: EPF - Álcool produzido na fermentação (m3)

MA_ART_FE - Massa de ART enviado para a fermentação (ton)

6. Comentários finais

Esta metodologia é utilizada no SIMAD (Sistema Integrado de Monitoramento a Distância).