



A APLICAÇÃO DA FERRAMENTA HAZOP NO PROCESSO DE OPERAÇÃO DA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA

L. M. F. LEITE¹, E. A. P. LIMA²

^{1,2} Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

RESUMO – *A Análise de Perigo e Operacionalidade (HAZOP) é uma das melhores e altamente disciplinadas técnicas para a identificação de perigos e problemas de operacionalidade em plantas industriais. Este trabalho visa a aplicação desta técnica em uma etapa de grande importância na indústria de fabricação de etanol biocombustível, a fermentação, com o objetivo de identificar e agir previamente às possíveis falhas operacionais humanas. O Hazop aplicado à operação facilitou o entendimento dos colaboradores sobre a ação a ser tomada diante de intempéries do processo, bem como servirá de apoio para os novos colaboradores que vierem a entrar na operação, corroborando não somente para o processo como uma ferramenta de melhoria, mas também na agregação de aprendizado da equipe diante da sinergia do Braimstorm.*

1. INTRODUÇÃO

O conceito “Indústria do Futuro” ou “Indústria 4.0” vem colocando em marcha uma nova revolução produtiva fundada no desenvolvimento de novas tecnologias em um conjunto amplo de áreas. Os efeitos dessa revolução apresenta o potencial de reconfigurar o setor industrial, alavancando expressivamente a produtividade, alterando modelos de negócios e competências, para tanto, é preciso haver celeridade nas estratégias (Almeida e Cagnin, 2019).

Diante disto, é comum que à medida que os processos industriais aumentam em complexidade e número de condições a serem controladas para obter maiores aumentos de produtividade, a detecção de possíveis consequências perigosas ao processo se torne mais difícil, porém, necessárias (Danko et al., 2019).

Atualmente, diversas técnicas sistemáticas para análise de perigos de processos estão disponíveis. Entre elas, a Análise de Perigo e Operacionalidade (HAZOP) é uma das melhores e altamente disciplinadas técnicas para a identificação de perigos e problemas de operacionalidade em plantas industriais. (Danko et al., 2019).

Este trabalho visa a aplicação da técnica de Hazop em uma etapa de grande importância na indústria de fabricação de etanol biocombustível, a fermentação, com o objetivo de identificar e agir previamente às possíveis falhas operacionais humanas. O trabalho não contempla falhas de natureza



não humana, como falhas mecânicas ou elétricas, por exemplo, dado que seu objetivo fim é oferecer auxílio na condução do processo de fermentação e tomada de decisão diante das adversidades do processo.

2. HAZOP

O estudo Hazop é um método estruturado de identificação de riscos potenciais e operação problemática de um processo por meio da análise dos efeitos de vários desvios das condições do projeto. (Marhaviilas et al., 2019).

As técnicas de identificação de perigos podem ser divididas em quatro classes, segundo a área em que estão aplicados predominantemente, sendo estas: (i) identificação de perigos do processo, (ii) identificação de perigos de hardware, (iii) riscos de controle identificação e (iv) identificação de riscos humanos. (Marhaviilas et al., 2019).

Um processo de implantação eficaz do estudo Hazop requer esforços conjuntos de uma equipe de pessoas no sistema de gestão e se divide basicamente em três fases:

- Definição e preparação: Nesta fase é definida a finalidade, escopo e objetivos do estudo, além de um líder de equipe e os participantes da equipe, considerando suas habilidades e conhecimentos necessários.
- Organização: Nesta fase dois compromissos são abordados: (i) dividir o processo em partes gerenciáveis para revisão imediata e (ii) planejar o estudo, agenda e organização de reuniões.
- Execução e Documentação: Esta fase consiste na identificação e documentação dos cenários de perigos e das recomendações da equipe do Hazop.

3. O PROCESSO DE FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA

Fundamentalmente, a produção de álcool ocorre porque as células da levedura precisam gerar energia e manter o equilíbrio redox ao consumir açúcares sob condições anaeróbicas. (Walker e Walker, 2018).

A fermentação contínua com fermento reciclado, ou tratado, é amplamente utilizada no Brasil. Neste processo o fermento é separado do vinho por meio de centrífugas, hidratado e tratado com ácido sulfúrico ou clorídrico com o objetivo de reestabelecer a membrana celular da levedura e eliminar parte da contaminação bacteriana.

O desempenho da fermentação pode ser avaliado por meio do monitoramento das principais características, tais como (Walker e Walker, 2018).



- Brotamento: Estudos realizados mostraram que a taxa de produção de álcool por levedura é mais rápida durante a atividade de crescimento celular, comparado com a taxa em células não crescentes, evidenciando a importância de se evitar condições estressantes que comprometeriam o crescimento celular, mantendo assim boas taxas de brotamento. O oxigênio é um fator de crescimento essencial, isto porque ele permite a biossíntese dos principais componentes da membrana tornando-as enriquecidas e, conseqüentemente, mais fermentativamente ativas e tolerantes ao estresse. Portanto, é de grande importância a aeração antes do início da fermentação, ou seja, na pré-fermentação.
- Viabilidade: Definida como a medida da capacidade reprodutiva das células. Para que a levedura cresça e seja capaz de conduzir uma fermentação eficiente uma boa prática consiste em adicionar nutrientes, tais como nitrogênio e minerais (como zinco e magnésio), ao processo. Suas disponibilidades impactam significativamente o crescimento e a tolerância ao estresse e, por consequência, os rendimentos de etanol. Estudos mostraram também que a falta de nutrientes pode levar à fermentações mais lentas ou presas.
- Estresse alcóólico: O meio alcóólico apresenta elevado grau de toxicidade às leveduras, sendo o etanol um importante estressor químico. Em altas concentrações de etanol a membrana celular da levedura é danificada, portanto, é importante controlar o tempo de fermentação para que a levedura fique o menor tempo possível exposta ao alto teor de álcool nas dornas.
- Temperatura: O impacto das condições físicas ambientais como temperaturas elevadas são grandes estressores em leveduras. Assim como o etanol, elevadas temperatura podem danificar a membrana celular da levedura, em resposta, as celular sintetizam proteínas de choque térmico e trealose, um protetor celular responsável por estabilizar a estrutura da membrana, para aumentar a integridade dela. Elevada temperatura combinada com etanol representam um estresse combinado para as leveduras, agindo sinergicamente para prejudicar o desempenho da fermentação. Portanto é preciso que haja um controle rígido sobre a temperatura de fermentação.
- Estresse osmótico: Altas concentrações de açúcar ou sais podem prejudicar a fermentação ocasionando o estresse osmótico, como consequência ocorre a biossíntese do glicerol, um álcool açucarado indesejável no processo de fermentação de etanol biocombustível,
- Contaminação bacteriana: No processo de fermentação alcóolica é frequente haver grandes quantidades de bactérias contaminantes, sendo a mais comum encontrada é do gênero Lactobacilos. Essas bactérias são relativamente resistentes a altos níveis de etanol e impacta o desempenho do fermento devido à biossíntese de compostos orgânicos inibitórios da fermentação, como o ácido lático, e também devido à indução de floculação de leveduras, fato indesejável em fermentadores de etanol combustível. A lavagem ácida do fermento durante a reciclagem pode ser eficaz na minimização de bactérias. No Brasil, o uso de antibióticos, como penicilina, virginamicina e monensina podem ser empregados em processos de etanol combustível para o controle da contaminação. Uma alternativa aos antibióticos é a aplicação de dióxido de cloro ou ácidos de lúpulo, com zero ou o mínimo de resíduos no processo,



4. MATERIAIS EMÉTODOS

A Análise de Perigo e Operabilidade foi implantada sob a etapa de fermentação, com foco na operação humana no processo, relacionada às principais características que podem ocasionar baixo rendimento de fermentação, sendo estas: viabilidade, brotamento, perda de açúcar residual no vinho, temperatura de fermentação, contaminação bacteriana, concentração de açúcar no substrato de alimentação e concentração do fermento.

Foram realizadas três reuniões em um período de três dias com a operação, sendo uma em cada turno de trabalho. Um Braimstorm sobre as operações críticas do processo de fermentação foi realizado e o Hazop foi elaborado a cada ponto discutido. Por fim houve uma validação por parte da engenharia.

5. RESULTADOS

O Hazop aplicado à operação facilitou o entendimento dos colaboradores sobre a ação a ser tomada diante de intempéries do processo, bem como servirá de apoio para os novos colaboradores que vierem a entrar na operação. A Figura 1, 2 e 3 apresenta a planilha Hazop elaborada.



Figura 1 – Planilha HAZOP: Processo de Fermentação – Parte 1

Parâmetro	Palavra guia	Desvio	Causa	Deteção	Consequência (evento indesejável)	Recomendação	Frequência
Brix/ ATR do mosto	Menor	Brix menor que o ideal definido no processo	Baixa vazão de caldo - variação da vazão de caldo da fábrica para a fermentação	Informação recolhida via rádio ou telefone com o coi da fábrica	Menor tempo de fermentação; desestabilização da fermentação; baixo teor alcoólico do vinho; Baixa produtividade	Acompanhamento horário do brix do mosto e ajustes nas vazões de água, mel e água do mosto no supervísório	Horário
			Baixa vazão de caldo - válvula manual fechada e/ou com	Visual na área		Inserir plano de inspeção	A cada repetição de horário fora do
			Alta vazão de água	Visual no supervísório		Acompanhamento horário do brix do mosto e ajustes na vazão de água no supervísório	Horário
			Baixa vazão de mel	Visual no supervísório		Acompanhamento horário do brix do mosto e ajustes na vazão de mel no supervísório	Horário
	Menor	Brix maior que o ideal definido no processo	Alta vazão de caldo - variação da vazão de caldo da fábrica para a fermentação	Informação recolhida via rádio ou telefone com o coi da fábrica	Perda de açúcar residual no vinho; maior tempo de fermentação; desestabilização da fermentação; estresse osmótico da levedura; Baixo rendimento de fermentação.	Acompanhamento horário do brix do mosto e ajustes nas vazões de água, mel e água do mosto no supervísório	Horário
			Alta vazão de caldo - válvula manual fechada e/ou com	Visual na área		Inserir plano de inspeção	A cada repetição de horário fora do
			Baixa vazão de água	Visual no supervísório		Acompanhamento horário do brix do mosto e ajustes na vazão de água no supervísório	Horário
			Alta vazão de mel	Visual no supervísório		Acompanhamento horário do brix do mosto e ajustes na vazão de mel no supervísório	Horário
Temperatura de fermentação	Maior	Temperatura maior que 34°	Falta de limpeza nos trocadores de calor	Visual no equipamento	Baixa troca térmica do mosto; rápida proliferação da contaminação bacteriana na fermentação; lentidão na fermentação; baixo rendimento de fermentação; sobra de açúcar residual na fermentação; baixo teor alcoólico do vinho; lentidão na fermentação, desestabilização do processo fermentativo; baixa viabilidade celular.	Plano de limpeza dos trocadores de calor das dornas	Diário
			Baixa eficiência da torre de água de resfriamento	Visual por medição da temperatura com termômetro		Plano de inspeção na torre - checagem de bicos, calhas, entradas de águas entre outros	Diário
			Contaminação da torre de resfriamento	Visual		Dosagem frequente de bactericida e dosagens esporádicas de choque de bactericida	Diário
			Alta temperatura do mosto de alimentação	Visual no supervísório		Plano de limpeza nos trocadores de calor de mosto	Diário

Fonte: Autor.



Figura 2 – Planilha HAZOP: Processo de Fermentação – Parte 2

Parâmetro	Palavra guia	Desvio	Causa	Deteção	Consequência (evento indesejável)	Recomendação	Frequência
Contaminação	Maior	Contaminação bacteriana maior que o ideal definido no processo	Alta temperatura	Visual no painel	Baixo rendimento de fermentação; perda de açúcar por consumo das próprias bactérias; Baixo teor alcoólico no vinho.	Ver Iten 2	
			Falta de limpeza nos trocadores de calor	Visual no equipamento		Plano de limpeza dos trocadores de calor das dornas	Diário
			Excesso de impureza no mosto	Visual no mosto		Inserção de filtros de mosto; limpeza periódica nos filtros de mosto	Diário
			Pontos mortos	Inspeção em linhas e equipamentos		Realizar inspeção em pontos mortos em válvulas, equipamentos e linhas	Diário
			Excesso de impureza mineral	Análise de controle de qualidade		Melhorar a qualidade do tratamento de caldo	Diário
			Falta de limpeza em tanques de mel	Análise de controle de qualidade		Realizar limpezas nos tanques de mel	2 x safra
			Viabilidade	Menor		Viabilidade menor que 75%	Falta de nutrientes
Alto estresse osmótico - alta velocidade na alimentação do mosto	Visual no tempo de alimentação x nível da dorna	Regular a alimentação de mosto conforme a operação			Diário		
Alto estresse osmótico - alto brix do mosto	Visual por medição com densímetro	Regular o brix de alimentação para a faixa correta (ver iten 1); Iniciar a alimentação da dorna com o fermento e após o mosto.			Diário		
Contaminação bacteriana	Análise de controle de qualidade	Ver iten 3			Diário		
Estresse por temperatura alta na fermentação	Visual no painel	Ver iten 2			Diário		
Estresse alcoólico	Análise de controle de qualidade	Controlar o tempo de fermentação para não exceder o ideal; realizar boa separação do fermento e vinho nas centrífugas			Diário		
Excesso de ácido no tratamento	Visual por consumo de ácido por cuba	Realizar análise de infermetescíveis para adequar a dosagem de ácido; adequar a dosagem de ácido conforme o pH desejado			Diário		
Excesso de impureza no mosto	Visual no mosto	Inserção de filtros de mosto; limpeza periódica nos filtros de mosto			Diário		

Fonte: Autor.



Figura 3 – Planilha HAZOP: Processo de Fermentação – Parte 3

Parâmetro	Palavra guia	Desvio	Causa	Deteção	Consequência (evento indesejável)	Recomendação	Frequência
Brotamento	Maior	Brotamento superior a 20%	Condições diversas favoráveis à levedura	Análise de controle de qualidade	Baixo rendimento de fermentação; perda de açúcar residual no vinho; baixo GI do vinho	Manter condições de fermentação favoráveis à levedura mas não ao brotamento. Formas de provocar o estresse: dosagem de ácido variável; diminuir água nas cubas	Sempre que necessário
	Menor	Brotamento inferior a 5%	Condições desfavoráveis à levedura	Análise de controle de qualidade	Baixo rendimento de fermentação; perda de açúcar residual no vinho; baixo GI do vinho; perda de massa biológica	Induzir a levedura a produzir álcool: Manter elevada concentração de açúcares no mosto/ alto teor alcóolico; Manter adequada a dosagem de ácido sulfúrico e hidratação da cuba; manter % de levedo entre 8 e 10%; realizar sangrias para manter controlado o % de levedo.	Diário
Tempo de fermentação	Menor	Alto tempo de fermentação/ Fermentação lenta ou parada	Falta de oxigênio na pré fermentação, falta de nutrientes	Via análise de controle de qualidade	Estresse alcoólico	Controlar o tempo de fermentação para não exceder o ideal.	Horário
Estresse alcoólico	Maior	Alto estresse alcoólico	Exposição por longo tempo à altas concentrações de etanol/ Elevado tempo de fermentação	Via análises de glicerol, viabilidade, tempo de fermentação entre outras.	Baixo rendimento de fermentação, em casos extremos ocasionará queda na viabilidade	Controlar o tempo de fermentação para não exceder o ideal; Realizar boa separação do fermento e vinho nas centrífugas.	Horário

Fonte: Autor.



6. CONCLUSÃO

O trabalho realizado corroborou não somente para o processo como uma ferramenta de melhoria, mas também na agregação de aprendizado da equipe diante da sinergia do Braimstorm.

Além dos controles operacionais citados na planilha de análise de risco, outros como floculação do fermento devem ser levados em consideração, pois podem afetar o desempenho da fermentação. O tema não foi abordado neste estudo devido ao fato do processo operar com leveduras não floculantes, logo, não se tem histórico de floculação nesta planta industrial.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. S. G. DE; CAGNIN, R. F. a Indústria Do Futuro No Brasil E No Mundo. **Iedi**, n. M, 2019.

DANKO, M. et al. Integration of process control protection layer into a simulation-based HAZOP tool. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 57, n. October 2018, p. 291–303, 2019.

MARHAVILAS, P. K. et al. The integration of HAZOP study with risk-matrix and the analytical-hierarchy process for identifying critical control-points and prioritizing risks in industry – A case study. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 62, p. 103981, 2019.

WALKER, G. M.; WALKER, R. S. K. **Enhancing Yeast Alcoholic Fermentations**. [s.l.] Elsevier Ltd, 2018. v. 105