UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA
QUÍMICA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL

TALIA FARIAS DE OLIVEIRA

GESTÃO E PREVENÇÃO DE INFECÇÃO EM MOENDAS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA

MACEIÓ-AL
2024

TALIA FARIAS DE OLIVEIRA

GESTÃO E PREVENÇÃO DE INFECÇÃO EM MOENDAS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Química Tecnológica e Industrial da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharela em Química Tecnológica e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza.

Coorientadora: Prof Dra. Sônia Salgueiro Machado

MACEIÓ-AL

2024

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Maria Helena Mendes Lessa – CRB-4 – 1616

O48g Oliveira, Talia Farias de.
Gestão e prevenção de infecção em moendas : um estudo de caso em uma usina sucroalcooleira / Talia Farias de Oliveira. – Maceió, 2024.
39 f. : il.

Orientador: José Edmundo Accioly de Souza.
Coorientadora: Sônia Salgueiro Machado.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Química Tecnológica e Industrial) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Química e Biotecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 36-39.

1. Extração de caldo de cana – Moenda – Infecção. 2. Produção sucroalcooleira – Qualidade – Eficiência. 3. Microrganismo – Bactérias. I. Título.

CDU: 664.111(813.5)

FOLHA DE APROVAÇÃO

TALIA FARIAS DE OLIVEIRA

GESTÃO E PREVENÇÃO DE INFECÇÃO EM MOENDAS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharela em Química Tecnológica e Industrial.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOSE EDMUNDO ACCIOLY DE SOUZA
Data: 14/05/2024 15:52:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza

(Orientador – IQB-UFAL)

Documento assinado digitalmente
gov.br
SONIA SALGUEIRO MACHADO
Data: 15/05/2024 10:23:25-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Sônia Salgueiro Machado

(Coorientadora – IQB-UFAL)

Documento assinado digitalmente
gov.br
JULIANA CRISTINA PEREIRA LIMA PAULINO
Data: 17/05/2024 06:28:52-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Juliana Cristina Pereira Lima Paulino

(Examinadora Interna – UFAL)

Documento assinado digitalmente
gov.br
VALERIA RODRIGUES DOS SANTOS MALTA
Data: 16/05/2024 09:37:24-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Valéria Rodrigues dos Santos Malta

(Examinadora Interna – IQB-UFAL)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado sabedoria, força e determinação para ir em busca de todos os meus sonhos e não me deixar desanimar em momento algum.

Ao meu orientador, Professor Dr. Edmundo, pela orientação valiosa, paciência e incentivo ao longo de todo o processo da graduação, pelas oportunidades, apoio e incentivo nesse trabalho. Seu conhecimento e orientação foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

À minha coorientadora, professora Dra. Sônia Machado, pelo apoio e incentivo e por me instigar a querer fazer mais, e por abraçar a ideia e pelo suporte no desenvolvimento desse trabalho.

Também gostaria de agradecer à minha família pelo apoio incondicional e pelo incentivo constante. Principalmente, minha mãe Marlene, que independente de qualquer situação, sempre esteve ao meu lado, apoiando, incentivando e acreditando nos meus sonhos.

Agradeço à minha companheira Alexia, por cada incentivo, por ser meu apoio, cuidado e carinho. Obrigada por compartilhar comigo desse sonho também.

Aos meus amigos e colegas que me acompanharam ao longo deste caminho, os da faculdade e os de trabalho. Cada pessoa que conheci me fez aprender algo e a me tornar uma pessoa melhor.

Por fim, expresso minha gratidão a todos que estavam envolvidos nesse trabalho, às Usinas que tive algum contato durante o desenvolvimento dessa pesquisa, e principalmente àquela que foi o estudo de caso desse trabalho.

A todos vocês, o meu muito obrigada.

“Se você pode sonhar, você pode realizar.”

Walt Disney

RESUMO

A extração de caldo é um parâmetro muito importante em uma indústria sucroalcooleira, pois interfere na eficiência da produção e qualidade nos processos de fabricação de açúcar e álcool. Devido a isso, surge a necessidade do estudo sobre a contaminação dentro da indústria que pode ser ocasionada por má qualidade na limpeza, matéria-prima de baixa qualidade e baixa estabilidade de processo. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi descrever e avaliar o processo de infecção em uma moenda de extração de caldo de cana e seus impactos no setor fabril dentro do contexto microbiológico em uma usina situada no estado de Alagoas. Realizou-se uma análise exploratória através de revisão a partir da literatura abordando os temas relacionados a infecção microbiológica e extração, com manuais de análises de usinas e *benchmarking* com unidades fabris do mesmo seguimento do estado. Diante disso, a coleta de dados e avaliação dos pontos críticos foi realizada por visitas *in loco*, entrevistas de campo e registros fotográficos. Foi utilizado o método laboratorial de variação de pH e plaqueamento de bactérias, para avaliar os pontos de cana desfibrada, caldo primário, caldo residual, e caldo misto, e como ferramenta de análise o Diagrama de Pareto. Pelo método comparativo, o caldo primário e caldo misto mostraram bom desempenho no baixo índice de infecção pelo método de variação de pH, visto que esses são os pontos principais. Ademais, foi mapeado os pontos críticos de infecção na fabricação de açúcar e álcool, e realizado uma análise de causa para avaliação da infecção no setor de extração pelo Diagrama de Ishikawa. Portanto, considerando que este estudo foi piloto dentro desta unidade fabril, pretende-se continuar com as análises e avaliação dos métodos com o objetivo de melhoria contínua do processo, bem como capacitar os colaboradores envolvidos, criar planos de ações baseados no ciclo PDCA, criar *checklists* de limpeza e folhas de verificação para redução de contaminação de infecção dentro da unidade, contribuindo assim para a qualidade e eficiência de produção sucroalcooleira.

Palavras-chave: Extração; infecção; microrganismo; caldo de cana.

ABSTRACT

Juice extraction is a very important parameter in a sugar and alcohol industry, as it interferes with production efficiency and quality in the sugar and alcohol manufacturing processes. Therefore, there is a need for a study on contamination within the industry that can be caused by poor quality cleaning, low quality raw materials and low process stability. In this sense, the objective of this work was to describe and evaluate the infection process in a sugarcane juice removal mill and its impacts on the manufacturing sector within the microbiological context in a plant located in the state of Alagoas. An exploratory analysis was carried out through a literature review addressing topics related to microbiological infection and removal, with plant analysis manuals and benchmarking with manufacturing units in the same segment of the state. Therefore, data collection and evaluation of critical points were carried out through on-site visits, field interviews and photographic records. The laboratory method of pH variation and bacteria plating was used to evaluate the points of shredded sugarcane, primary juice, residual juice, and mixed juice, and the Pareto Diagram was used as an analysis tool. Using the comparative method, the primary broth and mixed broth demonstrated good performance in terms of low infection rates using the pH variation method, as these are the main points. Furthermore, the critical points of infection in the manufacture of sugar and alcohol were mapped, and a cause analysis was carried out to assess the infection in the protection sector using the Ishikawa Diagram. Therefore, considering that this study was a pilot within this manufacturing unit, I intend to continue with the analysis and evaluation of the methods with the objective of continuous improvement of the process, as well as training the employees involved, creating action plans based on the PDCA cycle, creating checklists cleaning and verification sheets to reduce infection contamination within the unit, thus contributing to the quality and efficiency of sugar and alcohol production.

Keywords: Extraction; infection; microorganism; sugarcane juice.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da disposição dos rolos de extração. 10
Figura 2 – Moenda de extração do tipo elétrica. 11
Figura 3 – Principais gêneros de bactérias na indústria sucroalcooleira. 12
Figura 4 – Impactos ocasionados pelas bactérias na fermentação alcoólica. 20
Figura 5 – Ciclo PDCA. 22
Figura 6 – Diluição das amostras. 23
Figura 7 – Diluição dos caldos da extração. 24
Figura 8 – Fluxograma geral do processo industrial. 25
Figura 9 – Caldo da cana desfibrada. 27
Figura 10 – Caldo primário. 27
Figura 11 – Caldo misto. 28
Figura 12 – Caldo residual. 29
Figura 13 – Comparação caldo primário e caldo misto. 30
Figura 14 – Contagem de bactérias. 31
Figura 15 – Análise de causa pelo diagrama de Ishikawa. 31
Figura 16 – Peneira rotativa em limpeza. 32
Figura 17 – Peneira estática. 33
Figura 18 - Trocador de calor do tipo placas. 34
Figura 19 – Rolo superior da moenda de extração. 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ordem descendente de resistência a germicidas químicos e o nível de atividade necessário para esterilização. 13
Tabela 2 – Uso convencional de agentes germicidas químicos (onde "N.A." representa o nível de atividade e "sol.aq." refere-se à solução aquosa). 14
Tabela 3 – Correlação entre acidez, contaminação e rendimento. 18
Tabela 4 – Níveis aceitáveis de contaminação do processo. 30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APPCC	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle
ART	Açúcar Redutor Total
BPF	Boas Práticas de Fabricação
ClO_2	Dióxido de Cloro
CO_2	Dióxido de Carbono
CTC	Centro de Tecnologia Canavieiro
H_2SO_4	Ácido Súlfurico
INCQS	Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde
MWh	Megawatt Hora
NaOH	Hidróxido de Sódio
PCTS	Pagamento de Cana por Teor de Sacarose
PDCA	Plan, Do, Check, Action
pH	Potencial Hidrogeniônico
pHf	Potencial Hidrogeniônico Final
pHi	Potencial Hidrogeniônico Inicial
POL	Teor de Sacarose Aparente
ppm	Partes Por Milhão
UFC/mL	Unidades Formadoras de Colônias por Mililitro
VHP	Very High Polarization
ΔpH	Variação do Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 8

1.1 Objetivo Geral 9

1.2 Objetivos Específicos 9

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 10

2.1 Tipos de Moendas 10

2.2 Tipos de Bactérias 12

2.3 Contaminantes microbiológicos no processo de açúcar 15

2.4 Contaminantes microbiológicos na fermentação alcoólica 17

2.4 Controle de qualidade na indústria Sucroalcooleira 21

3. METODOLOGIA 22

3.1 Método delta pH 22

3.2 Método plaqueamento 23

3.3 Tratamento dos dados 24

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 24

4.1 Caracterização da indústria sucroalcooleira 24

4.2 Caracterização dos pontos de coleta 26

4.3 Caracterização dos pontos críticos de infecção pelo método delta pH 26

4.4 Caracterização dos pontos de infecção pelo método plaqueamento de bactérias 30

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS 35

REFERÊNCIAS 36

1. INTRODUÇÃO

A indústria sucroalcooleira desempenha um papel fundamental na economia, contribuindo significativamente para a geração de receita e empregos em várias regiões (Oliveira et al., 2019). No entanto, enfrenta desafios substanciais relacionados à contaminação bacteriana, que podem comprometer a eficiência e a segurança do setor. Estudos prévios evidenciam que as infecções bacterianas podem ocasionar danos às matérias-primas, acarretando prejuízos financeiros e riscos à saúde pública (Oliveira et al., 2019). Portanto, é imprescindível compreender a dinâmica dessas infecções e desenvolver estratégias eficazes para preveni-las, visando garantir a sustentabilidade e a competitividade da indústria sucroalcooleira.

Além dos desafios econômicos e de saúde pública previamente mencionados, é crucial considerar a complexidade dos processos industriais nesse setor. Conforme apontado por Santos e colaboradores (2018), a presença de infecções bacterianas pode impactar adversamente a eficiência dos processos de fermentação, destilação e produção de açúcar, resultando em consequências diretas na qualidade e quantidade dos produtos. Isso pode acarretar prejuízos financeiros e diminuir a competitividade da indústria, especialmente em um mercado globalizado e exigente (Santos et al., 2018). Devido a isso, é essencial implementar medidas eficazes de controle e prevenção de infecções bacterianas para assegurar o crescimento contínuo do setor sucroalcooleiro.

Observa-se que microrganismos estão presentes em todas as etapas da cadeia produtiva do açúcar e do etanol, desde o cultivo até o armazenamento, devido às condições favoráveis encontradas tanto na planta quanto no caldo de cana. Esses desafios elevam os custos das usinas, que necessitam investir em estratégias para mitigar a deterioração do produto (Ravno et al., 2006). Mesmo com a eliminação de leveduras, mofos e partes vegetativas de bactérias em determinadas faixas de temperatura durante o processo, os esporos bacterianos podem persistir. Problemas como a formação de dextrana, por exemplo, não são completamente eliminados, e a alta temperatura pode ocasionar inversão, resultando em um produto de menor valor (Gava et al., 2010).

Considerando a relevância do setor sucroalcooleiro e os desafios enfrentados devido à contaminação bacteriana, foi realizado um estudo de caso em uma usina localizada em Alagoas.

Sendo o foco analisar as variações de pH nos caldos de extração e avaliar as condições operacionais durante a produção e fazer sua posterior gestão e prevenção de infecção.

1.1 Objetivo Geral

Analisar o processo de extração de caldo de cana-de-açúcar em uma usina sucroalcooleira no estado de Alagoas, tendo como foco uma moenda de rolos para investigar potenciais fatores microbiológicos que possam interferir na produção de açúcar e álcool.

1.2 Objetivos Específicos

- Acompanhar o processo de extração de caldo na moenda;
- Identificar pontos críticos de infecção no processo industrial e controle no processo de extração;
- Avaliar os pontos de coleta de cana desfibrada, caldo primário, caldo misto e caldo residual.

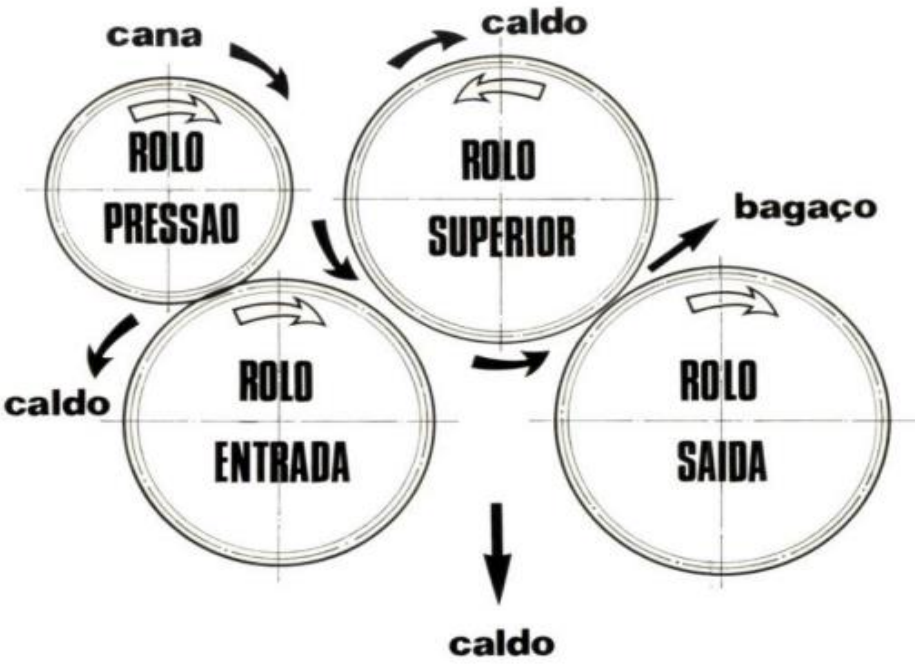
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Tipos de Moendas

Segundo Hugot (1969), as moendas são tidas como um conjunto de equipamentos que faz a separação do caldo da fibra da cana de açúcar. Atualmente, tem-se diversos tipos de moendas, entretanto, as mais utilizadas na indústria é devido a sua praticidade e seu custo-benefício, sendo elas as que são constituídas por rolos esmagadores.

A moenda por rolos, Figura 1, possui um conjunto de quatro ternos ou mais, sendo formada por cilindros, ela é composta por quatro cilindros dispostos de maneira a formar aberturas entre si, e três cilindros giram no sentido horário e um no sentido anti-horário (Caltarosso, 2008). Costuma-se trabalhar com moendas, Figura 2, de cinco a seis ternos para aumentar a extração, podendo chegar em 96 a 97% em açúcar redutor total (ART) e sacarose aparente (POL). A moenda de estudo para este trabalho é constituída de 5 ternos.

Figura 1 - Esquema da disposição dos rolos de extração.



Fonte: Adaptado de Hugot (1969).

Figura 2 – Moenda de extração do tipo elétrica.

Fonte: Autora (2024).

No setor sucroalcooleiro, existem dois tipos principais de moendas: as movidas a vapor e as elétricas. Sendo as do tipo vapor as primeiras e mais antigas. A utilização do vapor nas moendas foi introduzida pela primeira vez em 1947, e naquela época, os resultados obtidos foram satisfatórios. Foi observada uma economia de energia elétrica de cerca de 10 a 15%, além de uma ampla gama de variação nas velocidades individuais das moendas, sem afetar o rendimento, conforme documentado por Hugot (1969).

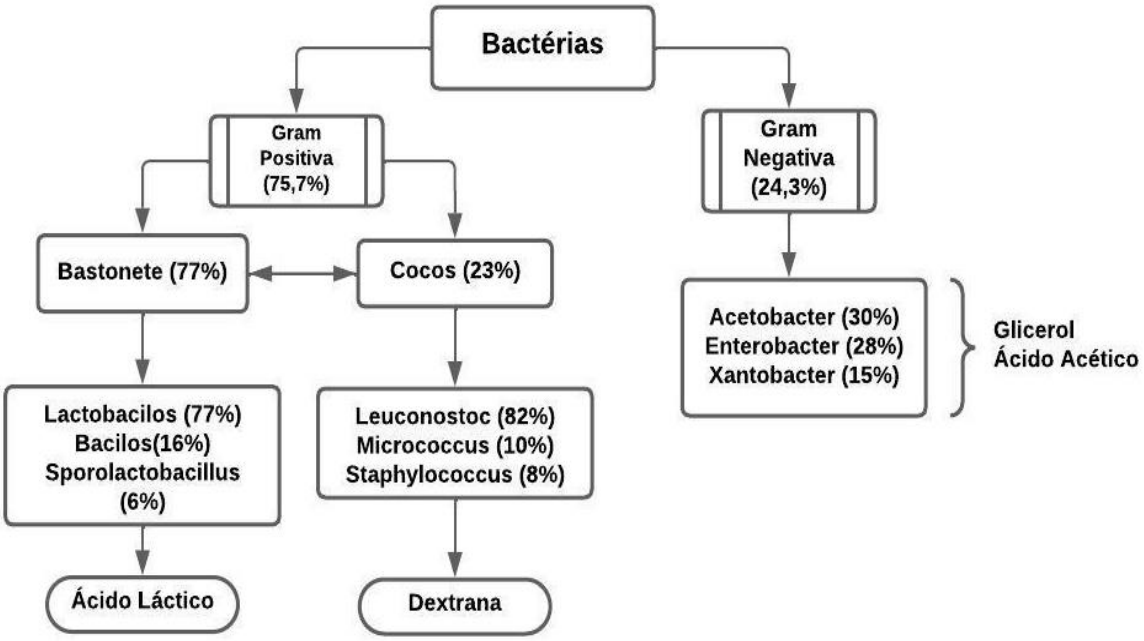
Com o progresso contínuo na indústria sucroalcooleira e sua busca constante pela melhoria dos processos e eficiência energética, houve uma redução gradual no consumo de energia a vapor, com a eletricidade assumindo um papel cada vez mais proeminente. Nesse contexto, a introdução da moenda elétrica foi considerada uma inovação significativa, permitindo uma operação mais eficiente e controlada em comparação com os métodos baseados em vapor. Conforme destacado por Hugot (1969), a adoção da eletricidade no processo representou um avanço substancial, possibilitando um controle mais preciso da moagem e uma extração mais consistente de caldo.

2.2 Tipos de Bactérias

As bactérias são, em sua maioria, organismos unicelulares em formatos esféricos, em bastão ou espirais, todavia, alguns tipos formam filamentos (Leeuwenhoek, 1670). Em grande parte, por ser tão pequena só pode ser visualizada por auxílio de um microscópio óptico. Além disso, elas são desprovidas de núcleo celular e não tem estruturas intracelulares envolvidas por membranas, e são encontradas na maioria das outras células (Black et al., 2018).

De acordo com (Madigan et al., 2019), a classificação das bactérias é vasta, visto que ela engloba diversos parâmetros morfológicos, fisiológicos e genéticos. Além disso, elas também podem ser divididas em Gram-positivas e Gram-negativas como mostrado na Figura 3. Nos dois casos, elas são formadas por uma estrutura rígida e formato celular constituído por um polímero complexo denominado como peptideoglicana. A composição é dada por unidades repetitivas de dissacarídeos, formado por N-acetilglicosamina unida por ligação glicosídica do tipo β (1-4) ao N-acetilmurâmico.

Figura 3 – Principais gêneros de bactérias na indústria sucroalcooleira.



Fonte: Adaptado de MC Desinfecção Industrial (2016).

As bactérias são classificadas com base em suas características morfológicas em três grupos principais: cocos, bacilos e espirilos. Os cocos, como *Streptococcus* e *Staphylococcus*, têm forma esférica, enquanto os bacilos, como *Escherichia coli* e *Bacillus*, têm formato de

bastonete. Por fim, os espirilos, como *Treponema pallidum* e *Helicobacter pylori*, apresentam-se em forma de espiral (Madigan et al., 2019).

Segundo Prescott et al. (2017), as bactérias são reconhecidas por sua notável capacidade de adaptação e diversidade metabólica, o que lhes permite sobreviver utilizando uma ampla gama de fontes de energia e nutrientes. Processos metabólicos fundamentais, como fermentação, respiração e fotossíntese bacteriana, desempenham um papel crucial na transformação de compostos orgânicos e inorgânicos, exercendo impacto não apenas no ambiente bacteriano local, mas também nos ecossistemas mais amplos. Além disso, essa flexibilidade metabólica permite que as bactérias respondam de forma dinâmica às mudanças ambientais, garantindo sua adaptação e sobrevivência em diversas condições. Estudos recentes têm se dedicado a investigar a diversidade metabólica bacteriana, bem como os mecanismos moleculares que regulam esses processos, oferecendo perspectivas valiosas para aplicações em áreas como biotecnologia, medicina e meio ambiente.

Os esporos bacterianos requerem uma alta atividade germicida para serem eliminados. Isso pode ser alcançado usando soluções aquosas de glutaraldeído e peróxido de hidrogênio com concentrações variando de 6 a 30%, juntamente com misturas contendo baixas concentrações de ácido peroxiacético e peróxido de hidrogênio, respectivamente 0,1 e 1% (Schmidell et al., 2001).

A Tabela 1, mostra que as bactérias formadoras de esporos, como exemplo, *Bacillus subtilis* e *Clostridium sporogenes*, são as que possuem maior resistência aos germicidas.

Tabela 1 – Ordem descendente de resistência a germicidas químicos e o nível de atividade necessário para esterilização.

TIPO DE MICRORGANISMO	**NÍVEL DE ATIVIDADE**
BACTÉRIA ESPORULANTE *Bacillus subtilis* *Clostridium sporogenes*	ALTO
MICOBACTÉRIA *Mycobacterium tuberculosis*	ALTO A INTERMEDIÁRIO
BACTÉRIA VEGETATIVA *Pseudomonas aeruginosa* *Staphylococcus aureus* *Salmonella choleraesuis*	BAIXO

Fonte: Adaptado de Favero et al., (1971).

O dióxido de cloro (ClO_2) pode ser aplicado em diferentes concentrações; no entanto, devido à sua natureza altamente oxidante, seu uso é restrito, uma vez que pode causar corrosão em superfícies metálicas ou de plástico.

Os Germicidas de nível intermediário não garantem necessariamente a destruição completa de esporos bacterianos, mas são capazes de inativar *Mycobacterium tuberculosis var. bovis*, bem como fungos, vírus com ou sem revestimento lipídico e bactérias vegetativas. Exemplos desses germicidas incluem soluções hidroalcoólicas de 70 a 90% de etanol ou isopropanol, compostos clorados com concentrações de cloro livre entre 500 e 5.000 ppm, solução aquosa de peróxido de hidrogênio de 3 a 6%, algumas formulações fenólicas e os iodóforos (preparações que fornecem de 12 a 50 ppm de iodo livre). Já os germicidas químicos de nível baixo são capazes de destruir formas vegetativas de bactérias, a maioria dos fungos, mas não todos, e vírus que possuem lipídios em sua estrutura (Schmidell et al., 2001).

Segundo Schmidell et al. (2001), a implementação de protocolos de desinfecção e ou, esterilização industrial, empregando germicidas químicos, é uma prática que demanda a consideração de múltiplos fatores, incluindo variáveis ambientais relevantes para o processo de sanitização de equipamentos específicos.

Em geral, esses procedimentos envolvem as seguintes etapas:

I. desmontagem do equipamento (se necessário);

II. limpeza dos componentes, retirando todo tipo de resíduos de meio de cultura, biomassa e produtos, fazendo o uso de detergentes e soda cáustica (se necessário);

III. lavagem dos componentes com água com baixo teor de pureza para remoção dos detergentes utilizados;

IV. montagem do equipamento e introdução de solução aquosa do germicida utilizado no processo;

A Tabela 2 apresenta exemplos típicos de usos de germicidas químicos de forma geral. No mercado, há disponibilidade de várias preparações com características semelhantes às descritas na tabela. No Brasil, a regulamentação e recomendação do uso de um germicida específico são conduzidas por organizações como o INCQS (Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde).

Tabela 2 – Uso convencional de agentes germicidas químicos (onde "N.A." representa o nível de atividade e "sol.aq." refere-se à solução aquosa).

GERMICIDA QUÍMICO	ATIVIDADES E CARACTERÍSTICAS	UTILIZAÇÃO TÍPICA
Compostos quaternários de amônio sol. aq. até 0,2%	Bactérias vegetativas, gram-negativas e positivas, podem ser resistentes, N.A. baixo	Limpeza geral e manutenção
Compostos fenólicos, sol. aq. até 5%	Pode ser ativo até contra vírus não lipídicos, N.A. baixo a intermediário	Desinfecção de áreas de laboratório e produção
Sol. aq. etanol ou isopropanol a 70%	Bactérias vegetativas, fungos e amplo espectro de vírus, N.A. intermediário	Desinfecção de materiais por imersão na solução
Sol. aq. 0,5% cloro livre	Amplo espectro, pode inativar bactérias esporuladas, limitação de uso pela atividade corrosiva, N.A. intermediário	Desinfecção de equipamentos, áreas de laboratório e produção
Sol. aq. Formaldeído 4 a 8%	Amplo espectro, pode inativar bactérias esporuladas, potencial carcinogênico, irritante, N.A. intermediário a alto	Desinfecção de equipamentos
Sol. aq. Formaldeído 8% e etanol ou isopropanol a 70%	Amplo espectro, ação contra micobactérias e bactérias esporuladas, potencial carcinogênico, irritante, N.A. alto	Esterilização de equipamentos, dependendo do tempo de exposição
Sol. aq. glutaraldeído 2% e sufactante	Amplo espectro, ação contra micobactérias esporuladas, N.A. alto	Esterilização de equipamentos, dependendo do tempo de exposição
Formulações contendo peróxido de hidrogênio 6 a 10%	Amplo espectro, ação contra micobactérias e bactérias esporuladas, N.A. alto	Esterilização de equipamentos, dependendo do tempo de exposição

Fonte: Adaptado de Schmidell et al., (2001).

2.3 Contaminantes microbiológicos no processo de açúcar

A cana-de-açúcar é um substrato propício para o desenvolvimento de uma ampla variedade de microrganismos. Este vegetal apresenta elevadas concentrações de nutrientes e um pH adequado que favorece a sua proliferação. Além disso, as condições ambientais no campo, incluindo temperatura, umidade, método de colheita e momento da queimada, são favoráveis ao crescimento microbiano (Gallo, 1989).

Uma forma comum de contaminação ocorre devido à presença de *Lactobacillus* e outras bactérias produtoras de ácido lático, que se desenvolvem ainda no campo (Maciel, 2011). Este autor identificou a presença desses microrganismos na superfície do colmo e no solo. Tais agentes microbianos podem causar prejuízos significativos, resultando em perdas de

aproximadamente 4,75% de sacarose recuperável por dia durante o período entre o corte e o processamento (Valsechi, 2005).

Além disso, outro microrganismo que inicia a contaminação no campo, causando perdas de sacarose recuperável de aproximadamente 4,8%, é o *Leuconostoc mesenteroides*. Esta bactéria penetra no vegetal por meio de lesões, rachaduras e partes segmentadas do colmo. Elas são responsáveis pela produção de uma goma conhecida como dextrana, a qual pode causar obstruções em peneiras e tubulações, aumento da viscosidade do mel e interferência direta na cristalização, resultando em aumento dos custos de produção devido ao tempo de cozimento prolongado, desperdício de vapor e necessidade de aquisição de enzimas. O *L. mesenteroides* metaboliza sacarose, produzindo frutose e ácidos orgânicos, o que diminui o pH e aumenta a taxa de inversão de glicose e frutose a partir da sacarose (Lopes e Borges, 1998; Tilbury, 1975).

As bactérias do gênero *Acetobacter* também são encontradas na cana-de-açúcar na indústria, e sua presença interfere diretamente no processo de moagem e nas peneiras de bagaço (Figueiredo et al., 2008). Essas bactérias também são conhecidas pela sua característica de ser acética, além de que também precisam de oxigênio para que ocorra a acetificação, devido a isso, multiplicam-se mais na parte do vinho que está sendo modificado para vinagre, e sua melhor eficiência está entre as temperaturas de 18 a 30 °C, além de ser uma bactéria comum quando ocorre uma fermentação mal-sucedida (Hautrive, 2021).

No produto, a presença de contaminações está mais intimamente ligada à atividade de água do produto, que representa a quantidade de água disponível para a contaminação e deterioração de um alimento, do que à umidade propriamente dita (Ditchfield, 2000). Geralmente, o açúcar apresenta baixo teor de água, tornando-o um produto alimentício microbiologicamente estável. No entanto, os contaminantes comuns incluem bactérias termófilas, leveduras e fungos. A presença dessas bactérias pode servir como indicador da eficiência do processo de tratamento do caldo e da higiene nas usinas (Parazzi et al., 2009).

Algumas usinas que produzem açúcar cristal, refinado e mascavo impõem exigências mais rigorosas em relação aos níveis permitidos de bactérias termófilas, bolores, coliformes, entre outros micro-organismos. No entanto, no caso do açúcar VHP (*Very High Polarization*), nenhum limite de contaminantes é aplicado, uma vez que este produto ainda passará por um processo de reprocessamento (Anvisa, 2001). No entanto, isso não implica que os princípios da Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) e das Boas Práticas de Fabricação

(BPF) não sejam essenciais para garantir que o processo de produção mantenha padrões elevados e evite a contaminação do produto (Oliveira et al., 2003).

2.4 Contaminantes microbiológicos na fermentação alcoólica

Nas indústrias, é comum que a fermentação ocorra na presença de microrganismos contaminantes, como leveduras selvagens e bactérias. Isso se deve, em parte, ao grande volume de substrato processado diariamente e à falta de esterilização adequada das matérias-primas, o que leva a condições sépticas comuns, especialmente durante o reciclo das leveduras. Durante esse processo, as bactérias que não foram completamente eliminadas durante o tratamento ácido podem retornar ao processo (Basso et al., 2008; Rocha, 2011; Netto et al., 2015). Esses fatores têm um impacto direto em parâmetros importantes da fermentação, afetando consequentemente o desempenho da produção (Carvalho et al., 2013).

No contexto microbiológico, a contaminação bacteriana é facilitada por condições de alta temperatura, estresse da levedura e aumento na formação de ácido lático. As altas temperaturas resultam na desnaturação da membrana celular das leveduras, o que impede o aumento do rendimento. O estresse da levedura pode provocar uma variedade de distúrbios que reduzem a atividade enzimática, interrompem o fluxo metabólico, danificam as estruturas celulares e alteram os gradientes químicos, levando a célula a um estado de instabilidade (Melo, 2006).

O aumento na formação de ácido lático está diretamente relacionado à floculação da levedura, sendo considerada a principal causa dos problemas encontrados na fermentação alcoólica (Lima et al., 2001). A floculação é o agrupamento das células, resultando em conglomerados muitas vezes mais pesados do que as células individuais. Quando ocorre uma interrupção na agitação durante a fermentação, esses conglomerados se transformam em bolhas de gases. Esse fenômeno compromete a conversão de açúcar em álcool e dióxido de carbono (CO_2), devido à redução da superfície de contato direto entre as células e o meio (Mutton et al. 2004).

Conforme Gallo (1989), entre os problemas ocasionados pela ação bacteriana, destacam-se as fermentações indesejáveis, que incluem as fermentações acética, lática, butírica, dextrana e da levana. A fermentação acética é causada pelas espécies *Acetobacter aceti*, *A. pasteurianum*, *A. acetosum*, *A. kuntzegianum* e *A. suboxydans*; a fermentação lática, principalmente pelas espécies *Lactobacillus acidophilus, L. bulgaricus, L. casei, L. leischmanii* e *Streptococcus lactis*; a fermentação butírica, pelas espécies *Clostridium pasteurianum* e *C.*

saccharobutyricum; a fermentação da dextrana, pelo *Leuconostoc mesenteroides*; e a fermentação, pelas espécies dos gêneros *Bacillus*, *Aerobacter* e *Streptococcus*.

A redução no rendimento fermentativo devido à presença de bactérias láticas é evidente. Além disso, a floculação também é observada, o que resulta na diminuição da velocidade de fermentação. Quando uma molécula de glicose é convertida em duas de ácido lático, duas moléculas de álcool deixam de ser produzidas pela levedura. Isso gera inconvenientes como entupimento de tubulações, aumento do fundo de dorna, dificuldades no tratamento ácido do creme de levedura, e redução na eficiência das centrífugas e dos antimicrobianos utilizados (Souza, 2009). A diminuição no rendimento fermentativo é comprovada como resultado do descontrole do teor de acidez. Em um estudo conduzido por Gallo (1989), foi estabelecida uma correlação entre acidez, contaminação e rendimento fermentativo. A Tabela 3 apresenta os dados correlacionados de acidez, bactérias e rendimento fermentativo.

Tabela 3 – Correlação entre acidez, contaminação e rendimento.

ACIDEZ (g/L)	BACTÉRIAS (UFC/mL)	RENDIMENTO FERMENTATIVO
0,92	8,16E+06	79,34
0,83	6,47E+06	81,57
0,6	4,50E+06	83,58
0,58	4,24E+06	88,87
0,56	3,41E+05	89,85
0,47	2,77E+05	90,18
0,46	1,31E+05	90,53
0,46	8,27E+05	90,55
0,43	8,00E+05	90,62
0,42	7,47E+05	90,65
0,42	6,00E+05	90,7
0,40	3,50E+05	91,02
0,31	3,20E+05	91,18
0,30	3,00E+05	91,87
0,28	2,00E+05	91,97
0,28	1,40E+05	92,04

Fonte: Adaptado de Gallo (1989).

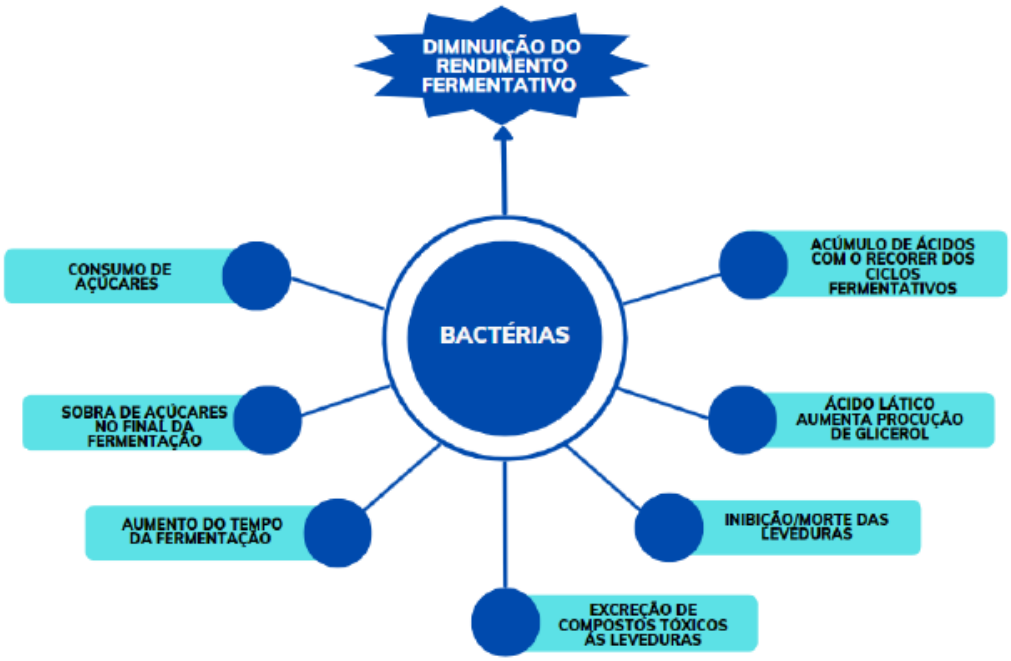
De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, fica evidente que tanto a acidez quanto a contaminação bacteriana em níveis elevados impactam o rendimento fermentativo. Concentrações de bactérias acima de $3{,}0 \times 10^6$ UFC/mL mostraram ter uma influência mais significativa, tanto no aumento da acidez quanto na redução do rendimento fermentativo.

Pesquisas indicam que a contaminação bacteriana resulta em uma diminuição no rendimento fermentativo na faixa de 14 a 90 % do esperado, quando a concentração de bactérias na fermentação atinge níveis de 10^8 a 10^9 células/mL. Também foram observadas quedas de 10 a 40 % no rendimento associadas a níveis de 10^7 a 10^8 células/mL (Oliva et al., 1995).

Um dos contaminantes mais comuns nos processos de fermentação alcoólica são as bactérias, especialmente as Gram-positivas dos gêneros *Lactobacillus*, *Bacillus e Leuconostoc* (Ceccato et al., 1998). Essa contaminação frequente ocorre devido ao ambiente propício para o crescimento dessas bactérias, uma vez que muitas usinas ainda enfrentam dificuldades para implementar um processo completamente esterilizado, desde a recepção da matéria-prima até a saída do produto (Álcoolbrás, 2005). Embora essas bactérias estejam sempre presentes nos processos de fermentação, é necessário agir rapidamente quando há um aumento significativo em sua população, acima de 10^7 bastonetes/mL, pois esses micro-organismos podem dobrar sua população em apenas 28 minutos.

A primeira medida para conter a contaminação é a dosagem de antibióticos, mas isso pode ser oneroso e não é recomendado aplicar doses acima de 10 kg por dia em cada dorna de 300 m³ (Álcoolbrás, 2005). Além disso, existem outras ações que podem auxiliar no controle, como a limpeza da moenda e das tubulações, a desinfecção das instalações de fermentação (dornas, cubas e tubulações) ao final de cada ciclo fermentativo, o tratamento ácido do fermento, o descarte de fundos de dorna e a re-centrifugação do fermento (Ceccato et al., 1998). Os prejuízos causados por essas bactérias são numerosos, como ilustra a Figura 4.

Figura 4 – Impactos ocasionados pelas bactérias na fermentação alcoólica.



Fonte: Adaptado de Ceccato (1998).

O excesso de agentes bacterianos pode causar uma série de danos ao processo de fermentação, como a redução na produção, aumento na mortalidade celular e presença de contaminantes como o glicerol, além da produção de ácidos orgânicos pelas próprias bactérias, como o acético e o láctico. Outro ponto importante é a floculação do fermento, que ocorre em condições de estresse, com temperaturas e pH inadequados, contato com gomas produzidas por bactérias ou com as próprias bactérias indutoras de floculação, ou ainda a contaminação por leveduras selvagens floculantes. Isso faz com que as células de levedura se agrupem em conglomerados maiores como mecanismo de defesa. Esses grandes flocos podem se sedimentar rapidamente ou flutuar, o que reduz a produção de etanol e pode resultar em excesso de ácido acético residual no vinho. O tratamento ácido do fermento, especialmente com ácido sulfúrico, é eficaz na desfloculação e é essencial para os processos de fermentação industrial com reciclagem de células (Ceccato et al., 1998).

2.4 Controle de qualidade na indústria Sucroalcooleira

Segundo Martins e Laugeni (2002), a busca constante pela qualidade por excelência, através da aplicação de melhores talentos e esforços com o intuito de resultados mais elevados, não é uma preocupação recente. Isso é dado há mais de 25 séculos, visto que a qualidade se associa com o que há de melhor, ao fazer o correto em busca de padrões elevados de desempenho.

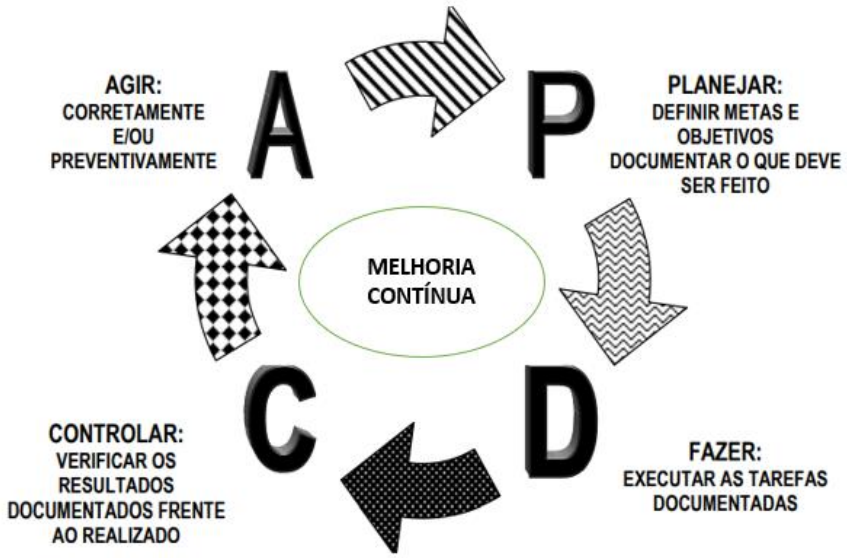
O controle de qualidade tem um papel decisivo na indústria sucroenergética, pois garante a produção de etanol e açúcar com elevada qualidade e segurança para o consumo humano e industrial. Este controle está desde a seleção e cultivo da matéria-prima até aos processos fabris e armazenamento, assegurando a conformidade com padrões e regulamentações estabelecidas pelo mercado (Santos et al., 2018).

Com um controle de qualidade rigoroso, garante que os produtos atendam aos padrões de pureza, segurança e eficácia, buscando minimizar os riscos de contaminação e garantindo a conformidade com as normas regulatórias vigentes (Martins et al., 2020).

O gerenciamento da qualidade na indústria sucroenergética é essencial para garantir a integridade e segurança dos produtos, como açúcar e etanol. Durante o processo de extração de caldo, um dos principais desafios é evitar a contaminação microbiológica, que pode prejudicar a qualidade e eficiência da produção (Pereira et al., 2022). Esta contaminação pode surgir de microrganismos não desejados presentes no ambiente de produção ou de práticas inadequadas de higienização. Diante disso, é fundamental adotar medidas rigorosas de controle de qualidade para monitorar e prevenir a contaminação em todas as fases da extração de caldo.

A implementação eficaz de boas práticas de controle de qualidade contribui para a maximização da eficiência produtiva, bem como a diminuição de desperdícios, e a melhoria da competividade no mercado, como também garante a sustentabilidade ambiental e a satisfação dos clientes. Com o intuito de atingir a padronização das atividades realizadas no dia a dia da indústria, visa-se utilizar o ciclo PDCA, Figura 5, que assegura e planeja as atividades sempre da mesma forma, independente dos colaboradores serem ou não da área (Falconi et al., 1991).

Figura 5 – Ciclo PDCA.



Fonte: Adaptado de Santos et al., (2013).

3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado em uma usina sucroenergética situada no interior de Alagoas, durante 4 meses, aproximadamente. Foi realizado uma pesquisa bibliográfica sobre o tema onde foi utilizado base de dados indexados, publicações científicas, livros, revistas e manuais de usinas. As coletas de dados foram realizadas a partir de visitas *in loco* periódicas com o intuito de conhecer a malha industrial, maquinário, colaboradores e o processo de extração, acompanhamento da produção de açúcar e álcool. A colaboração entre a universidade e a empresa, juntamente com a identificação de problemas e sugestões de melhorias ao longo deste período, constituíram a base deste estudo de caso.

3.1 Método delta pH

Os caldos provenientes dos diferentes estágios da extração do caldo de cana-de-açúcar foram coletados em uma garrafa plástica graduada de 1 L, incluindo os pontos de origem: cana desfibrada, caldo primário, caldo residual e caldo misto.

Após a coleta, as amostras foram filtradas utilizando algodão e um funil e em seguida, foram transferidas para frascos de vidro de 200 mL, onde foi adicionado um volume de 100 mL de cada amostra. Após coleta das amostras, filtrou-se e transferiu-se 50 mL para um recipiente com tampa, e ajustou-se o pH por volta de 5,5 (pH inicial, com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1M ou ácido sulfúrico (H_2SO_4) 1M. Em seguida, encubou-se por 4 horas a 37°C em

estufa (Jornal Cana, 2019), e ao final mediu-se o pH novamente, e fez-se a determinação do inicial menos o final conforme a equação abaixo:

$$\Delta pH = pHi - pHf$$

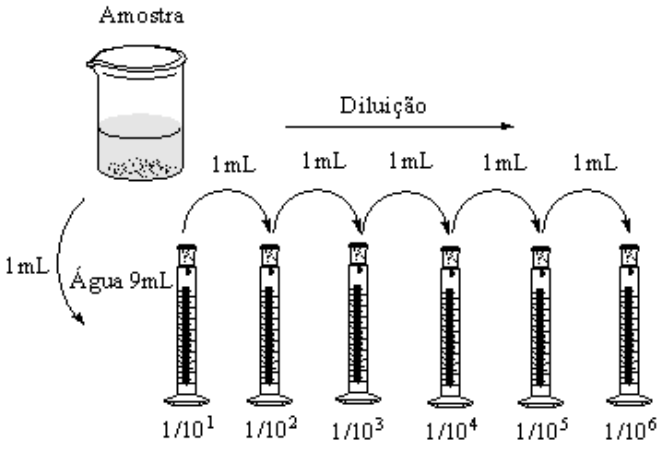
Os turnos de coleta foram organizados em três períodos distintos: A, das 16h00min às 00h00min; B, das 08h00min às 16h00min; e C, das 00h às 08h00min. Cada turno realizou as coletas e repetiu o mesmo procedimento descrito anteriormente.

3.2 Método plaqueamento

Foi coletado em um frasco de 1 L os caldos dos seguintes pontos: cana desfibrada, caldo primário, caldo residual, caldo misto e água da embebição.

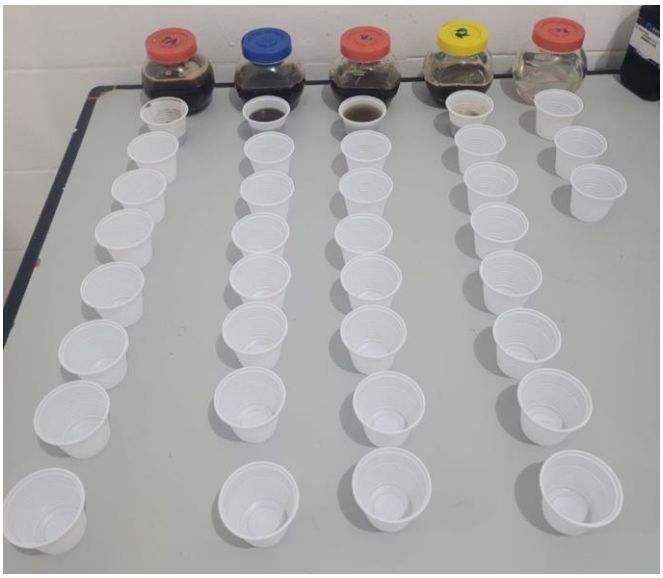
Primeiro, utilizou-se um algodão e um funil para filtrar 100 mL de amostra de cada ponto. Em seguida, transferiu-se essa amostra filtrada para um frasco de vidro de 200 mL. Depois, foram preparados 8 copos descartáveis, onde cada um recebeu 9 mL de água destilada com o auxílio de uma pipeta graduada, para os pontos de caldo da cana desfibrada, caldo primário, residual e misto. Além disso, 9 mL de água destilada foram colocados em 3 copos descartáveis de 50 mL, destinados à água da embebição como mostrado na Figura 7. Posteriormente, seguiu-se o método do procedimento conforme descrito na Figura 6.

Figura 6 – Diluição das amostras.



Fonte: Adaptado de Manual Centro de Tecnologia Canavieira (2007).

Figura 7 – Diluição dos caldos da extração.



Fonte: Autora (2024).

Após as diluições, foi transferido 1 mL com o auxílio de uma pipeta volumétrica de cada amostra para suas respectivas placas petrifilm e encubadas na estufa bacteriológica por 24h (Manual CTC, 2007).

3.3 Tratamento dos dados

Os dados coletados foram analisados e processados utilizando planilhas do Excel®, enquanto os diagramas e imagens foram criados com o suporte das ferramentas disponíveis no pacote Microsoft Office.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

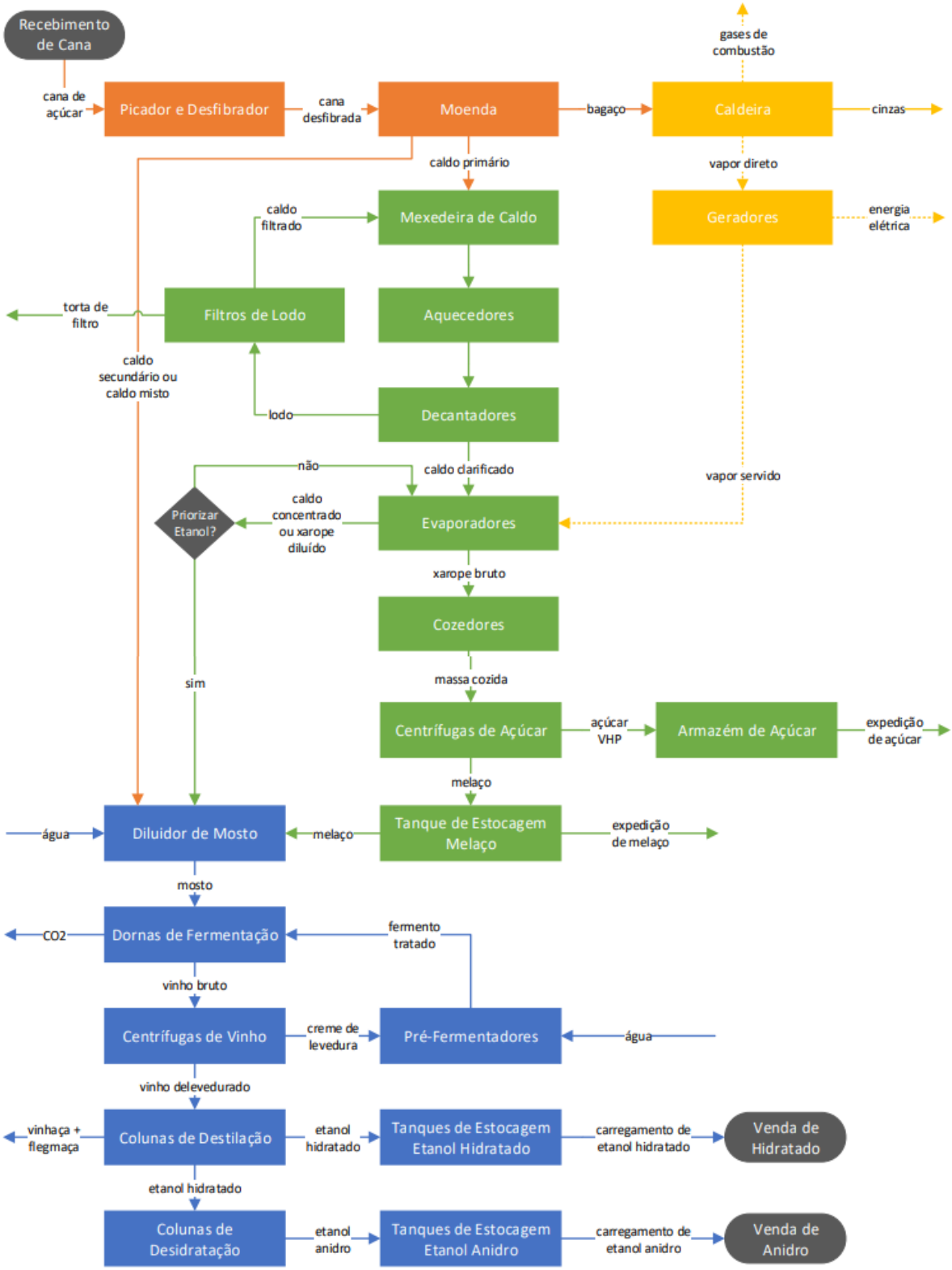
4.1 Caracterização da indústria sucroalcooleira

A empresa objeto deste estudo de caso, tem um fluxograma geral de processo industrial, conforme mostra a Figura 8. Possui uma trajetória de aproximadamente cinco anos no mercado e uma capacidade de produção que totaliza cerca de 1.400.000 toneladas de cana moída. Produziu 97.447,650 toneladas de açúcar VHP, 41000 m³ de etanol e 129.678 MWh de energia gerada na safra 2023/2024.

A distribuição dos produtos é orientada de acordo com a demanda do mercado, sendo o etanol, comercializado principalmente no estado da Região Nordeste do Brasil, enquanto o açúcar é exportado para outros países. Atualmente, a empresa emprega aproximadamente 300 colaboradores diretos, entre os setores administrativo e fabril, e sua produção é ajustada conforme as necessidades e exigências do mercado.

No setor de extração de caldo, a moenda possui 5 colaboradores por turno. Sendo dividido em: 2 operadores, 1 mecânico, 1 auxiliar mecânico e 1 lubrificador.

Figura 8 – Fluxograma geral do processo industrial.



Fonte: Autora (2024).

4.2 Caracterização dos pontos de coleta

O caldo da cana desfibrada é obtido após o processo de desfibramento, onde a cana é preparada e sua fibra é separada para a extração do caldo em uma prensa hidráulica, operando com uma pressão de 250 kgf/min no laboratório de Pagamento de Cana por Teor de Sacarose (PCTS).

Na sequência, o caldo primário é coletado após a primeira extração, passando pelo primeiro terno da moenda. Já o caldo residual consiste na combinação dos caldos provenientes dos cinco ternos de extração, sendo o mais rico em sacarose e recebendo a água da embebição. O caldo misto é formado ao unir todos os caldos em um tanque, sendo encaminhado para a produção de álcool e açúcar, a depender da demanda no momento.

A água de embebição, é caracterizada por uma temperatura elevada de cerca de 60 ºC, pura e limpa. Desempenhando um papel essencial na extração do caldo de cana, ela também é utilizada para a limpeza da moenda.

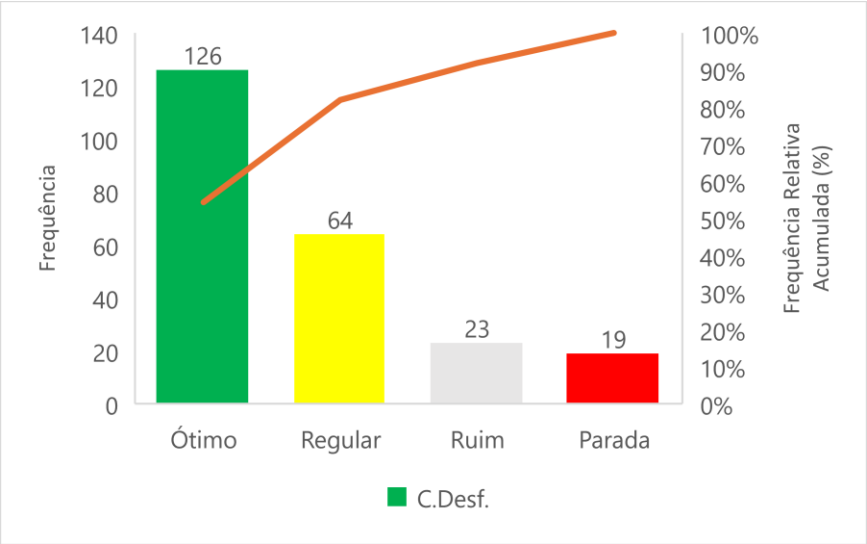
4.3 Caracterização dos pontos críticos de infecção pelo método delta pH

No início do processo, os pontos de coleta foram classificados em quatro categorias, definido por procedimento padrão: "ótimo"; se for ≤ 1, "regular"; se for ≥ 1,01 a 1,2, "ruim" se for > 1,2 e "parada", quando a usina está parada por algum problema mecânico, elétrico ou falta de cana. Diante disso, foi possível realizar uma análise dos pontos de coleta da cana desfibrada, caldos dos tipos primário, misto e residual, sendo utilizado Diagrama de Pareto. Na Figura 9, que se refere à cana desfibrada, foi observado que as condições "ótimo" e "regular" foram as mais frequentes.

Com base nesta análise, é evidente que os esforços de melhoria devem ser direcionados principalmente para manter ou aumentar o número de resultados classificados como "ótimo" e "regular". Simultaneamente, é crucial trabalhar na redução ou eliminação dos resultados classificados como "ruim". Essas ações têm o potencial de aprimorar de forma significativa os resultados e a qualidade do processo ou sistema em geral.

É importante destacar que esse ponto analisado se refere a cana que está chegando na indústria, sendo proveniente de uma ampla variedade de cepa de cana, esse resultado mostra que ela não está significativamente abaixo do esperado na sua qualidade, mostrando uma infecção de um nível controlado, podendo ser combatido por um agente bactericida no processo.

Figura 9 – Caldo da cana desfibrada.

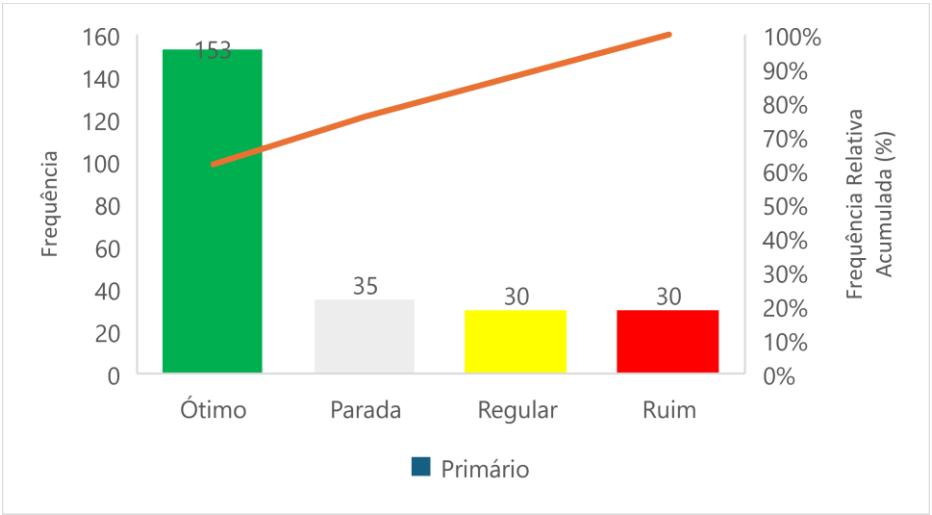


Fonte: Autora (2024).

No que concerne ao caldo primário, Figura 10, em consequência de termos uma cana de qualidade razoável entrando na indústria, tem-se o parâmetro “ótimo” em maior predominância. Este aspecto pode ser justificável dado a distância de um ponto ao outro ser curta, e o único interferente para mudar essa situação seria o nível de infecção alto causado por má qualidade na limpeza da moenda, o que mostra que não é o caso nessa situação.

Além disso, nesse ponto de coleta, também é utilizado o biocida quaternário de amônio com a concentração de 20 ppm por minuto durante 24 horas, visto que neste caso ele atua como fungicida e bactericida, pois reduz a perda de açúcar, como também a acidez do caldo, eliminando também a formação de dextrana e aumentando consequentemente o rendimento.

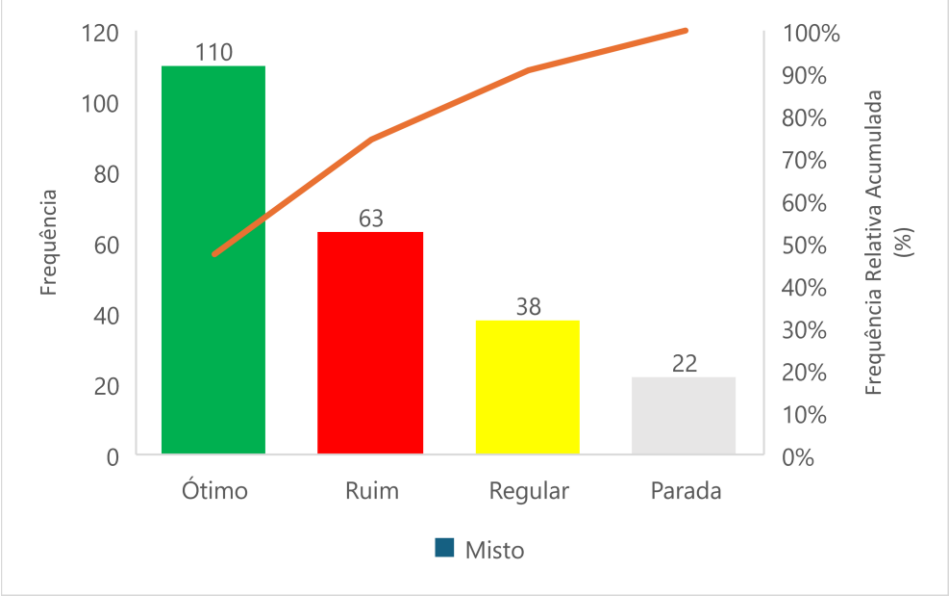
Figura 10 – Caldo primário.



Fonte: Autora (2024).

Já em relação ao caldo misto, Figura 11, o ponto que possui maior predominância é o ponto “ótimo”. Isso mostra que possui uma frequência acumulada de um ponto para o outro, mas também mostra que o “ruim” possui uma frequência que merece uma atenção, visto que esse caldo analisado é utilizado para a fabricação de açúcar e de álcool, podendo ocasionar diretamente a produção e proliferação de bactérias na fermentação, e proliferação de dextrana na fabricação de açúcar. Esse ponto de coleta possui maior rotatividade, visto que à medida que o tanque vai recebendo caldo, ele vai sendo destinado para suas respectivas áreas fabris, a depender da necessidade no processo.

Figura 11 – Caldo misto.



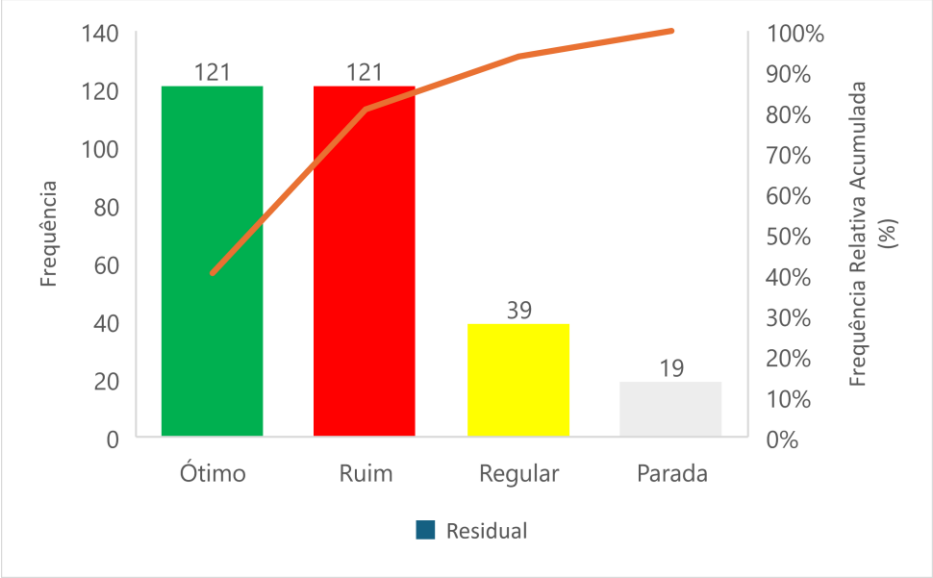
Fonte: Autora (2024).

Na indústria sucroalcooleira, um dos pontos críticos de infecção é relacionado a formação de dextrana, pois ela é um polímero de alto peso molecular, que é formado por unidades de D-glucose, ligadas entre si por ligações do tipo α-1,6. Em sua maioria (95%) estão estruturadas em forma linear, com 5% de ramificações provavelmente com ligações α-1,2; α-1,3 ou α-1,4 (Khalikova, 2005).

Por fim, o caldo residual, Figura 12, que é o último ponto de coleta, sendo uma junção de todos os caldos dos outros ternos da moenda, possui dois pontos iguais, sendo eles “ótimo” e “ruim”. Como esse caldo percorre um caminho maior, e passa mais tempo nos rolos da moenda, ele pode ser contaminado por uma má limpeza, ou desinfecção. Vale lembrar que nesse ponto também recebe um aditivo de biocida organo sulfuroso com a concentração de 20 ppm por minuto, durante 24 horas. Este produto é utilizado para fazer o controle da proliferação de bactérias, visto que age diretamente sobre os microrganismos do gênero *Lactobacilos*

Plantarum e *Leuconostoc Mesenteroides*, que são formadores de biofilmes muito comuns em caldos da moenda. Este produto possui ainda um mecanismo de inibição enzimática, do sistema respiratório e consequentemente inatividade total dos microrganismos presentes.

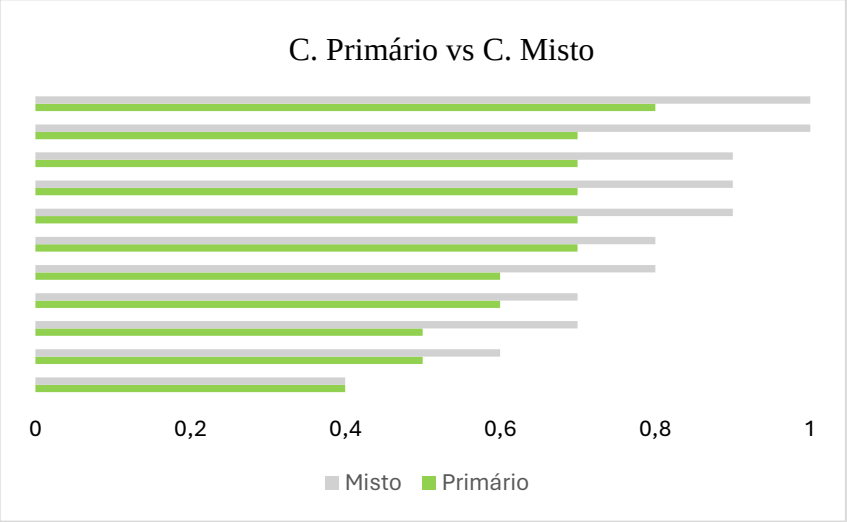
Figura 12 – Caldo residual.



Fonte: Autora (2024).

Nas análises de delta pH nos principais caldos, primário e misto, notou-se que ambas as amostras possuem uma boa qualidade, visto que estão em sua variação de pH abaixo de 1. Entretanto, o caldo primário possui melhor qualidade em relação a não proliferação de bactérias como mostra a Figura 13, isso demonstra que a adição do quaternário de amônio possui boa eficácia como agente antibactericida, assim como também pode-se visualizar que é necessário avaliar a concentração da adição do organo sulfuroso no caldo residual. Esse ponto de caldo é o último para o caldo ser destinado ao tanque de caldo misto. É importante também avaliar os pontos críticos de infecção até a chegada do caldo nesse tanque.

Figura 13 – Comparação caldo primário e caldo misto.



Fonte: Autora (2024).

4.4 Caracterização dos pontos de infecção pelo método plaqueamento de bactérias

A contagem de microrganismos em placa de petrifilm é considerado um método convencional, muito empregado para enumerar microrganismos dada a sua precisão e versatilidade. Pode-se determinar várias classes de microrganismos mudando apenas o meio de cultivo e condições de incubação (Silva et al., 1996).

O método padrão de contagem de microrganismos em placas é dado como geral e utilizado para contagem de grandes grupos microbianos, como aeróbios e mesófilos. O princípio do método baseia-se na premissa de cada célula microbiana presente em uma amostra que irá formar uma colônia visível isolada, quando fixada em um meio de cultivo sólido adequado (Silva et al., 1997). O número de diluições necessário é dado após o plaqueamento, podendo ser de 30 a 300 colônias por placa.

Segundo o manual de metodologia do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), ele mostra os níveis aceitáveis de contaminação durante o processo, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Níveis aceitáveis de contaminação do processo.

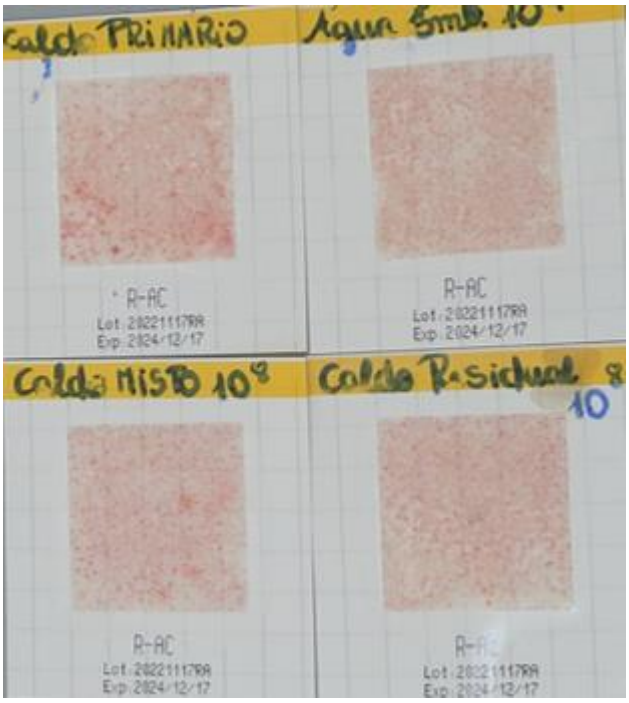
NÍVEIS ACEITÁVEIS DE CONTAMINAÇÃO DE BACTÉRIAS NO PROCESSO	
Caldo Primário	$\leq 10^7$
Caldo Misto	$\leq 10^7$
Caldo Cana Desfibrada	$\leq 10^7$

Fonte: Adaptado de Manual CTC Microbiologia (2007).

Foram realizados testes microbiológicos pelo método de contagem de bactérias, com diluições de 10^7 e 10^8, como mostra a Figura 14, entretanto, não foi possível realizar a contagem, todas as amostras foram dadas como incontáveis, ao total foram realizadas 30 coletas, e feito a incubação por 24h, porém para ambas as diluições não foi possível realizar a contagem, e os dados obtidos constam o processo com infecção alta. Vale pontuar que essa foi a primeira safra da usina em estudo com o intuito de identificar como estava a infecção na moenda de extração, bem como a análise de delta pH.

Dado os resultados obtidos, segundo Amorim (1982) é possível perceber que se não houver controle de imediato, haverá perdas no processo de fermentação alcoólica e no rendimento de açúcar.

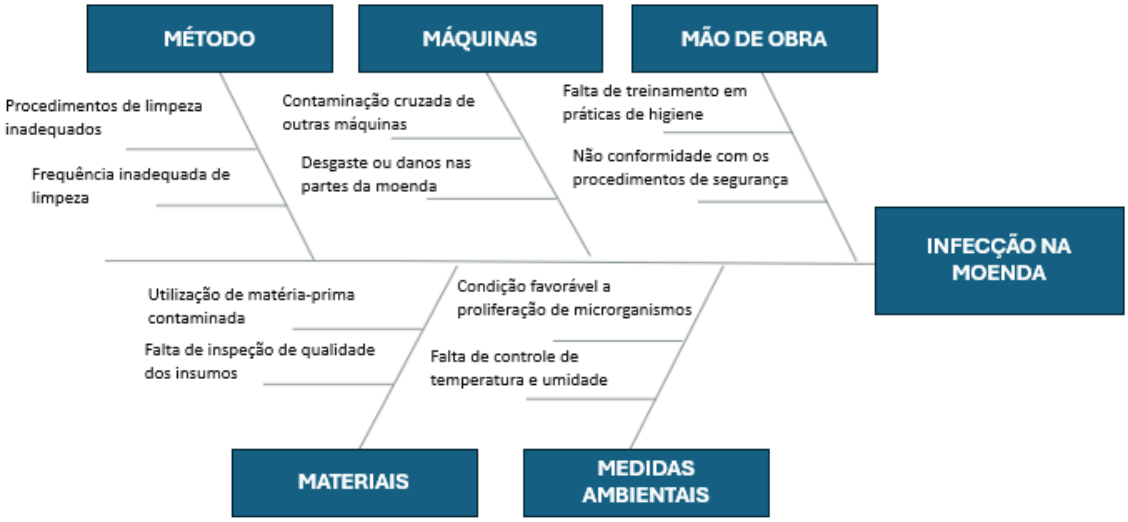
Figura 14 – Contagem de bactérias.



Fonte: Autora (2024).

Além disso, com o intuito de verificar as possíveis causas para o efeito de contaminação, foi aplicado o Diagrama de Ishikawa para análise de causa, como mostra a Figura 15. Ao observar as medidas ambientais, uma situação frequente é a utilização da água de embebição para limpeza, pois não estava na temperatura ideal para desinfecção, sempre estava abaixo de 60 °C, o que não é o ideal para o procedimento.

Figura 15 – Análise de causa pelo Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Autora (2024).

Outro fator agravante para a contaminação, que pode ser cruzado entre os maquinários (peneira rotativa, peneira estática, trocador de calor a placas), é a falta de procedimento operacional adequado para a limpeza dos equipamentos que recebem a cana na indústria e pelos quais o caldo extraído percorre até chegar aos pontos de fabricação de açúcar e álcool. É necessário realizar inspeções frequentes para avaliar a situação de cada ponto focal e solicitar aos responsáveis que realizem a limpeza no maquinário.

Figura 16 – Peneira rotativa.

Fonte: Autora (2024).

A limpeza da peneira rotativa, Figura 16, é realizada quando acontece paradas na usina, seja ela programada ou não, dado esse momento os operadores do setor de extração, utilizam

água condensada para limpeza, bem como utilizam uma solução de 50 ppm de hidróxido de sódio, eles fazem a aplicação por volta de 20 vezes com o volume de 10 L na malha da peneira.

A peneira estática, Figura 17, possui um alto acúmulo de bagacilho de diversos tipos de cepas de cana, isso faz com que ocorra o surgimento de microrganismos e se multiplique no caldo extraído que fica armazenado nos tanques para ser enviados ao processo industrial. Apesar de haver essa peneira e ter essa retenção alta de bagacilho, quando o caldo é enviado para a fabricação de álcool, ele passa por trocadores de calor do tipo placas, e ainda assim, também há matéria orgânica que fica retida nas placas dos trocadores, como mostra a Figura 18, além de também ficar sedimentos nas dornas de fermentação, sendo necessário fazer a desmontagem do equipamento para realizar a limpeza com água em alta pressão.

Figura 17 – Peneira estática.

Fonte: Autora (2024).

Na destilaria e fermentação possui 14 trocadores de calor do tipo placas, no qual sua limpeza é realizada em média duas vezes na semana, sendo um ponto crítico devido ao alto acúmulo de matéria orgânica, tipo bagacilho proveniente da peneira estática da moenda de extração. Essa contaminação pode surgir pela presença de microrganismos indesejados, dado a manutenção preventiva ou condições operacionais inadequadas, sendo necessário a aplicação de nutrientes a mais na fermentação para que as leveduras possam se desenvolver (Oliveira et al., 2021).

Figura 18 - Trocador de calor do tipo placas.

Fonte: Autora (2024).

Já em relação aos frisos do rolo de extração, que tem como objetivo o desfibramento completo da cana, sendo outro ponto crítico de contaminação cruzada. Caso não aconteça um hidrojateamento com alta pressão e temperatura, irá acarretar acúmulo de microrganismos e infecção indesejada, havendo a necessidade de criar folha de verificação de limpeza. Além disso é necessário treinamento para os operadores, mostrando importância da limpeza adequada, e o quanto a sua não realização irá impactar negativamente no processo.

Figura 19 – Rolo superior da moenda de extração.

Fonte: Autora (2024).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

O caldo primário, pelo método delta pH possui melhor qualidade em relação a não proliferação de bactérias, já em comparação a avaliação do caldo residual, há necessidade de verificar se a concentração do organo sulfuroso está sendo eficiente, como também é necessário aplicar planos de ação com o ciclo PDCA para cada resultado obtido após as análises químicas.

Além disso, o processo de extração em uma indústria sucroalcooleira é contínuo, portanto, exige agilidade dos operadores, bem como da mecânica, assim como do agrícola para manter a matéria-prima em estoque para moagem. Qualquer falha no planejamento, faz com que seja comprometido toda produção, podendo ocasionar perdas ou atrasos. De modo geral, o controle de infecção na moenda de extração necessita de mais estudos e ensaios, como também de mais *benchmarking* entre as usinas que fazem esse controle no Estado. As Usinas de Açucar e Álcool trabalham com a matéria-prima com composição similar, e condições ambientais análogas. Para após isso, ser criado planos de ações com o método do ciclo PDCA, onde possa ser controlado os pontos críticos, como exemplo, a peneira rotativa e estática, para que não aconteça infecção cruzada na obtenção do caldo final.

Diante dos fatos apresentados, é necessário que a limpeza periódica entre os turnos e que ela seja avaliada antes e depois, para ver se está sendo eficaz. É necessário periodicamente fazer testes de temperatura de água de limpeza, e concentração de solução de assepsias ideais, como também sejam criados *checklists* de pontos que devem obrigatoriamente passar por uma limpeza mais rígida. É necessário ter um controle quando houver paradas na usina, para que o caldo que ficar nos tanques de armazenamento seja direcionado para o tratamento de caldo. Caso isso não aconteça, pode haver a proliferação de bactérias, contaminando todo o processo. Também é necessário a capacitação dos colaboradores envolvidos para que entendam a importância do assunto e o quanto essa questão impacta no processo produtivo.

REFERÊNCIAS

ANVISA. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. **Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. Brasília, DF: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2001.

BLACK, Jacqueline G. **Microbiologia: Fundamentos e Perspectivas**. Porto Alegre: Artmed, 2018.

BASSO, L. C. et al. **Ethanol production in Brazil: the industrial process and its impact on yeast fermentation.** ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, v. 12, n. 2, p. 404-425, 2008.

CECCATO-ANTONINI, Sandra Regina. **Fermentação alcoólica: aspectos microbiológicos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.

CTC- Centro de tecnologia canavieira. **Manual de métodos microbiologia da fermentação**, 2007. Acesso em: 16/02/2024. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/342076265/Manual-CTC-Microbiologia.

CALATAROSSO, Fábio. **Análise de tensões em equipamentos de moagem da cana-de-açúcar usando o método dos elementos finitos**. 2008. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

CARDOSO, T. D. F. et al. **Technical and economic assessment of trash recovery in the sugarcane bioenergy production system**. Scientia Agricola, v. 70, p. 353-360, 2013.

DITCHFIELD, C. **Princípios de Microbiologia de Alimentos**. Aspen Publishers, 2000.

FAVERO, C. A.; BOND, W. W. **Kinetics of poliovirus destruction**. *Appl. Microbiol.*, v. 21, p. 94-97, 1971.

FIGUEIREDO, L.C. et al**. Impacto da contaminação bacteriana no processo de moagem de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Engenharia Química, v. 25, n. 1, p. 123-129, 2008.

FALCONI, V. C., ISHIKAWA, K. Qualidade Total – Padronização de empresas. 1991. **Controle de qualidade total à maneira japonesa**. 6 ed. Rio de Janeiro.

GALLO, C. R. **Determinação da microbiota bacteriana de mosto e de dornas na fermentação alcoólica**, Campinas, SP, 1989. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1989.

GAVA, A.J. **Métodos de conservação de alimentos. Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 1984. p. 129-139.

HUGOT, Emile. **Manual da engenharia açucareira**. Tradução de Irmtrud Miocque. São Paulo: Mestre Jou, 1969.

HAUTRIVE, Tiffany Prokopp. **Ciência e tecnologia de alimentos**. Editora Insular, 2021.

LIMA, U. A. et al. **Biotecnologia industrial: Processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Blucher, 2001.

LEE, A. **Manual de microscopia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

MADIGAN, M. T. et al. **Brock Biology of Microorganisms**. 15ª ed. Boston: Pearson, 2019.

MC Desinfecção Industrial. **Contaminação bacteriana do processo de fermentação etanólica e suas implicações**. Cascavel: [s.n.], 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE CONTROLE DE QUALIDADE EM SAÚDE. **Ministério da Saúde** (Brasil). Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/produtos-para-saude/produtos-para-saude. Acesso em 20 de Março 2024.

LOPES, A.M.; BORGES, J.J. **Estudo microbiológico em indústria de açúcar**. Revista Brasileira de Microbiologia, v. 29, n. 4, p. 341-345, 1998.

LIMA, U. A. et al. **Biotecnologia industrial: Processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Blucher, 2001.

OLIVEIRA, I. C. C. **Controle de qualidade laboratorial em unidades de produção de alimentos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília.

OLIVEIRA, R. S.; MARTINS, A. L. **Infecção no trocador de calor tipo placas em usinas sucroalcooleiras: Impactos e estratégias de controle**. Revista Brasileira de Engenharia Química, v. 28, n. 2, p. 245-254, 2021.

ROCHA, M. V. P. et al. **Bactérias láticas isoladas do caldo de cana-de-açúcar e sua influência na fermentação alcoólica**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 6, n. 2, p. 165-171, 2011.

SCHMIDELL, W.; LIMA, U. de A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. **Biotecnologia Industrial** Volume 2. Editora Edgard Blücher Ltda., 2001.

SANTOS, A. P., Silva, M. F., & Oliveira, J. F. (2018). **Controle de qualidade na indústria sucroenergética: uma abordagem integrada**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 22(6), 407-414.

VALSECHI, O.A.C. **Bactérias contaminantes na produção de açúcar e etanol**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 3, n. 2, p. 153-157, 2005.

LIMA, A. M. C. et al. **Fermentação Alcoólica: Processos e Impactos Industriais**. São Paulo: Artliber, 2001.

MELO, F. M. **Fisiologia do estresse em leveduras**. In: Biologia Molecular e Celular de Leveduras. São Paulo: EdUSP, 2006. p. 169-184.

MUTTON, M. J. R. et al. **Fermentation kinetics of batch cultures of Saccharomyces cerevisiae**. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, v. 79, n. 4, p. 448-454, 2004.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção**. 1ª ed. – 6ª tiragem. São Paulo: Saraiva, 2002.

Martins, R. L., & Costa, P. M. (2020). **Importância do controle de qualidade na indústria sucroenergética: Impactos na competitividade e sustentabilidade**. Revista de Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade, 10(2), 50-64.

NETTO, P. et al. **Lactic acid production from renewable resources: from traditional industrial to bioprocess technology.** Applied Microbiology and Biotechnology, v. 67, n. 5, p. 10-22, 2015.

OLIVA NETO, P. **Microbiologia Industrial: a ciência da fermentação**. 2. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 1995.

OLIVEIRA, C., ROCHEDO, P., BHARDWAJ, R., WORREL, E., SZKLO, A. (2019). **Bio-ethylene from sugarcane as a competitiveness strategy for the Brazilian chemical industry**.

PEREIRA, J. M., & Ribeiro, F. S. (2022). **Desafios e controle de qualidade na extração de caldo na indústria sucroenergética**. Revista Brasileira de Engenharia de Produção, 14(3), 80-88.

PARAZZI, C.; JESUS, D.A.; LOPES, J.C.; VALSECHI, O.A. Análises microbiológicas do açúcar mascavo. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 32-40, 2009.

ROCHA, A. S. et al. **The impact of yeast metabolic state on alcoholic fermentation.** Applied Microbiology and Biotechnology, v. 97, n. 16, p. 7547-7554, 2013.

SCHMIDELL, W.; LIMA, U. de A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. (Coord.). **Biotecnologia Industrial** Volume 2. Editora Edgard Blücher Ltda., 2001.

SOUZA, A. B. **Biologia da fermentação alcoólica**. 1. ed. São Paulo: Editora Nobel, 2009.

TILBURY, R.H. **Microbiologia Industrial**. São Paulo: Ed. Guanabara Koogan, 1975.