



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

SAMARAH DAYSE ALMEIDA DA SILVA

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA PARA IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS
DE QUALIDADE NA FABRICAÇÃO DE REFRIGERANTES**

RECIFE

2024

SAMARAH DAYSE ALMEIDA DA SILVA

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA PARA IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS
DE QUALIDADE NA FABRICAÇÃO DE REFRIGERANTES**

TCC apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador(a): Daniella Carla Napoleão

RECIFE

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Samarah Dayse Almeida da.

Aplicação da ferramenta FMEA para identificação de defeitos de qualidade na
fabricação de refrigerantes / Samarah Dayse Almeida da Silva. - Recife, 2024.
44 : il., tab.

Orientador(a): Daniella Carla Napoleão

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Alimentos -
Bacharelado, 2024.

1. Bebidas carbonatadas. 2. Não-conformidades. 3. Xaroparia. I. Napoleão,
Daniella Carla. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

SAMARAH DAYSE ALMEIDA DA SILVA

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA PARA IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS
DE QUALIDADE NA FABRICAÇÃO DE REFRIGERANTES**

TCC apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Aprovado em: 19/03/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DANIELLA CARLA NAPOLEAO**
Data: 27/03/2024 15:17:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Daniella Carla Napoleão (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **ANDELINA MARIA PINHEIRO SANTOS**
Data: 27/03/2024 19:31:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Andrelina Maria Pinheiro Santos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **INGRID LARISSA DA SILVA SANTANA**
Data: 27/03/2024 17:57:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Msc Ingrid Larissa da Silva Santana (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por estar comigo em todos os momentos, cuidando de mim e guiando meus passos, especialmente quando eu não conseguia encontrar o caminho.

Ao meu pai, Djailson Severino da Silva, pelos esforços que colocou para que eu pudesse chegar até aqui, por me levar até onde eu não chegaria sozinha, e à minha mãe, Sandra Almeida da Silva, por me encorajar e acreditar em mim desde sempre e por me receber com tanto amor todas as vezes em que eu voltava para casa.

À minha irmã, Daniela Stefâne Almeida da Silva, por partilhar a vida comigo e me ensinar sobre coisas que eu não poderia aprender com mais ninguém.

Aos meus familiares, por me incentivarem e serem compreensivos quando eu não estava tão presente em suas vidas.

A Renê Fragoso, pelo companheirismo e encorajamento nessa etapa da minha vida e por me apresentar a lugares e momentos incríveis. À Luciana Pereira, pelo carinho, apoio e cuidado de sempre.

À minha orientadora, Daniella Napoleão, por aceitar esta orientação, pela paciência e troca de conhecimentos. À Prof^a Andreлина Pinheiro, por me aconselhar e estimular, especialmente nessa reta final.

Aos meus colegas de graduação, especialmente Vinicius Guilherme (meu irmãozinho) e Artur Botelho (minha duplina), e aos meus colegas de trabalho Deyvison e Ewerton, pela amizade e momentos de descontração, e Fábio, pelas “consultorias” neste projeto.

À Amanda, pela amizade, pelos cafés e apoio na escrita.

A Rivanildo Vieira, pelos conselhos profissionais e pelo incentivo ao conhecimento.

Agradeço à Universidade Federal de Pernambuco, por me fornecer o conhecimento que hoje exponho como quase-engenheira de alimentos, e à empresa que serviu de base para este trabalho, por me proporcionar esta experiência pessoal e profissionalmente enriquecedora.

E aqueles que eu não pude citar diretamente, por serem muitos, mas me auxiliaram de alguma forma nessa jornada de conhecimento e realização pessoal.

Enfim, meu “muito obrigada!” a todos vocês.

“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.” (Rosa, 1956, p.293).

RESUMO

Refrigerantes são bebidas gaseificadas que resultam da mistura do xarope de sacarose com extratos vegetais e saturadas de dióxido de carbono, cujo consumo é motivado, entre outros fatores, pela sua praticidade, hiperpalatabilidade e sensação efervescente. Diante de um processo produtivo complexo, tornou-se necessária a abordagem de identificação de oportunidades de melhorias como forma de garantir a qualidade e satisfação do cliente. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou a realização de um estudo de caso no setor de xaroparia de uma fábrica de refrigerantes em Pernambuco, no qual aplicou-se a ferramenta Análise de Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) para identificar potenciais falhas do processo. Para melhorar a compreensão, relacionou-se os registros de não-conformidades do ano de 2023 com os principais defeitos gerados pela xaroparia, evidenciando-se que o desvio mais frequente é a alteração do sabor da bebida. Um fluxograma foi elaborado para compreender as etapas do processo, seguido pela implementação da FMEA, descrevendo-se os equipamentos utilizados, suas possíveis falhas e os efeitos sobre o produto em processo. A priorização das falhas considerou critérios de severidade, probabilidade de ocorrência e detecção, gerando um número de prioridade de risco (NPR). A formulação incorreta durante o proporcionamento da bebida emergiu como a falha de maior prioridade com um NPR de 24. Para identificar suas causas associadas, aplicou-se o diagrama de Ishikawa, que apontou falhas no sistema de bombas e válvulas e nos sensores de nível, vazão e brix, bem como na conduta operacional e nos procedimentos. Foram propostas ações que incluem a interrupção da produção do blender quando identificado o desvio, a correção do parâmetro de controle por intervenção no processo, a troca ou reparo de dispositivos de controle com integridade comprometida e a revisão ou elaboração de procedimentos. Ao final, a tabela FMEA passou a servir como registro das falhas potenciais mapeadas. Portanto, as ferramentas aplicadas nesse estudo de caso foram eficientes no alcance dos objetivos propostos, uma vez que permitiram ilustrar o processo, facilitando sua compreensão. Além disso, identificou-se possíveis desvios e suas causas, de modo que a empresa possa usar tais informações para conduzir melhorias futuras no processo e para manter um controle eficaz por meio da implementação das ações propostas.

Palavras-chave: bebidas carbonatadas; não-conformidades; xaroparia.

ABSTRACT

Soft drinks are carbonated beverages resulting from the mixture of sucrose syrup with plant extracts and saturated with carbon dioxide, whose consumption is driven, among other factors, by their convenience, hyperpalatability, and effervescent sensation. Faced with a complex production process, the need for an approach to identify improvement opportunities arose to ensure quality and customer satisfaction. In this context, this study aimed to conduct a case study in the syrup production sector of a soft drink factory in Pernambuco, applying the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) tool to identify potential process failures. To enhance understanding, non-conformity records from the year 2023 were correlated with the main defects generated by the syrup production, revealing that the most frequent deviation is the alteration of the beverage's taste. A flowchart was developed to comprehend the process stages, followed by the implementation of FMEA, describing the equipment used, their potential failures, and effects on the in-process product. Prioritization of failures considered criteria severity, probability of occurrence and detection, resulting in a Risk Priority Number (RPN). Incorrect formulation during the beverage proportioning emerged as the highest-priority failure with an RPN of 24. To identify its associated causes, the Ishikawa diagram was applied, revealing flaws in the pump and valve system, as well as in the level, flow, and brix sensors, along with operational conduct and procedures. Proposed actions include halting blender production upon deviation detection, correcting control parameters through process intervention, replacing or repairing control devices with compromised integrity, and reviewing or developing procedures. Ultimately, the FMEA table now serves as a record of mapped potential failures. Therefore, the tools applied in this case study proved effective in achieving the stated objectives by illustrating the process and enhancing understanding. Additionally, potential deviations and their causes were identified, enabling the company to use this information for future process improvements and to maintain effective control through the implementation of proposed actions.

Keywords: carbonated beverages; non-conformities; syrup production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da produção nacional e consumo de refrigerantes no país.....	17
Figura 2 – Sistema produtivo de refrigerantes.....	20
Figura 3 – Frequência mensal de registros de não conformidades de xaroparia.....	27
Figura 4 – Principais defeitos associados às não conformidades.....	27
Figura 5 – Fluxograma de processos da xaroparia.....	29
Figura 6 – Tanque proporcionador (Blender).....	31
Figura 7 – Diagrama de Ishikawa desenvolvido para o problema de formulação incorreta.....	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Aditivos alimentares mais empregados em refrigerantes.....	18
Quadro 2 – Características da qualidade de acordo com sua evolução no tempo.....	21
Quadro 3 – Critérios para avaliação de severidade, probabilidade de ocorrência e detecção de falhas.....	25
Quadro 4 – FMEA do processo de xaroparia.....	33
Quadro 5 – Ações propostas para o problema de formulação incorreta.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIR	Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e Bebidas Não Alcoólicas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
IBC	<i>Intermediate Bulk Container</i>
ISO	International Organization for Standardization
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
NPR	Número de Prioridade de Risco
PET	Polietileno Tereftalato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Breve histórico	16
2.2	Composição do refrigerante.....	17
2.3	Processo produtivo.....	19
2.4	Gestão da qualidade	21
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	Relação entre não-conformidade e xaroparia.....	24
3.2	Análise das etapas do processo através de um fluxograma	24
3.3	Levantamento dos modos de defeito, causas e efeitos	24
3.4	Ações propostas	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1	Relação entre não-conformidade e xaroparia.....	26
4.2	Análise das etapas do processo através de um fluxograma	28
4.2.1	<i>Fabricação do xarope simples.....</i>	<i>30</i>
4.2.2	<i>Fabricação do xarope composto.....</i>	<i>30</i>
4.2.3	<i>Desaeração da água.....</i>	<i>31</i>
4.3	Levantamento dos modos de defeito, causas e efeitos	32
4.4	Ações propostas	36
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A Portaria N° 123 de 13 de maio de 2021 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define que “Refrigerante é a bebida gaseificada, obtida pela dissolução, em água potável, de ingrediente vegetal, adicionada de açúcar, devendo ser obrigatoriamente saturado de dióxido de carbono, industrialmente puro” (Brasil, 2021, p. 6). Segundo essa norma, é opcional a adição de vitaminas, sais minerais, fibras, cafeína, pedaços de frutas ou vegetais, aditivos alimentares e/ou outros ingredientes aprovados, desde que seja feita em conformidade com as legislações específicas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e que não descaracterize o produto.

Em relação às bebidas açucaradas, categoria na qual se inserem os refrigerantes, o estudo de Epifânio *et al.* (2020) mostrou que, entre 2007 e 2014, pessoas do sexo masculino, com idade entre 18 e 59 anos, que trabalham e são moradores das regiões centro-oeste, sul e sudeste, foram as que mais apresentaram a tendência de consumir excessivamente tais produtos. Para eles, o fato desses alimentos serem hiperpalatáveis, duráveis, fáceis de transportar e de bom custo-benefício são as principais motivações do consumo.

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes (ABIR), em 2021, foram produzidos 33 bilhões de litros de bebidas não alcoólicas, com consumo anual de aproximadamente 154 litros per capita. Dentro desse grupo, os refrigerantes apresentaram o menor crescimento de volume de produção (2,9%) em relação a 2020. Visando a defesa deste setor, algumas estratégias tornaram-se necessárias, como a renovação constante do portfólio de produtos, para atrair o consumidor dando-lhe a liberdade de escolha. Aliado a isso, tem-se a busca pela sustentabilidade em toda a cadeia produtiva, marcada pela prática da economia circular, com desenvolvimento e utilização de novas embalagens, redução da geração de resíduos e do consumo de recursos naturais (ABIR, 2021).

A produção de refrigerantes envolve a fabricação do xarope simples, que é a dissolução do açúcar cristal em água, podendo-se empregar diferentes métodos, como a dissolução à quente, e do xarope composto, que consiste na mistura e homogeneização do xarope simples aos demais ingredientes (aditivos, extratos vegetais e água). O refrigerante propriamente dito é obtido ao se dissolver gás

carbônico no xarope composto, em temperaturas baixas. Logo em seguida, o líquido é envasado em embalagens previamente higienizadas (CELESTINO, 2010).

A alta complexidade da fabricação de refrigerantes torna-a suscetível à descaracterização do produto em relação às especificações, as quais garantem sua qualidade e a segurança dos consumidores. Uma vez que existe dificuldade ao conceituar qualidade, muitos estudiosos da área abordaram-na de formas diversas. Uma delas traz uma classificação em cinco aspectos: a qualidade transcendental, a qualidade baseada em pontos como o produto, o usuário, a produção e o valor agregado. Sob uma perspectiva operacional, a qualidade deve ser gerada no processo produtivo, para onde fluem todos os esforços. No entanto, essa percepção só foi alcançada depois do controle sobre o produto, o qual tornou-se fonte de informações para melhorias do processo produtivo, isto é, para resolução das causas e não dos efeitos (Carvalho; Paladini, 2012).

Em se tratando de resolução de causas, Aguiar *et al.* (2019) expõem que minimizar falhas de processo é um objetivo das atividades de manutenção. Retardar a degradação de equipamentos, seja pelo desgaste natural ou oriundo de causas especiais, e implantar melhorias que reestabeleçam as condições originais do projeto ou previnam o problema são ações que reduzem custos e aumentam a produtividade. Isso porque um bom desempenho operacional é consequência do desenvolvimento da percepção da perda e da identificação de desvios e oportunidades de aperfeiçoamento.

Nesse contexto, o processo de melhoria contínua envolve a identificação dos problemas, a observação e coleta de dados, a análise e busca de causas raízes e verificação dos resultados. Essa sistemática costuma ser o plano de fundo das metodologias e ferramentas mais utilizadas na gestão da qualidade. Um exemplo disso é a análise dos modos de falha e seus efeitos, tradução para *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), cuja proposta é avaliar a confiabilidade de um processo através da severidade, probabilidade de ocorrência e detecção de falhas potenciais. O produto desses três fatores é usado para estabelecer a prioridade de resolução dos problemas apontados (Paula; Gambi, 2023).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo geral a realização de um estudo de caso em que se propôs identificar possíveis falhas no processo de fabricação de refrigerantes, com foco em defeitos de qualidade, mediante a

aplicação da ferramenta FMEA no processo de xaroparia de uma engarrafadora de grande porte. Assim, foram traçados os objetivos específicos:

- Avaliar qualitativamente a relação entre defeitos de qualidade e o setor de xaroparia da indústria em questão;
- Compreender e ilustrar o processo de xaroparia;
- Analisar os modos de falha e seus efeitos na etapa de xaroparia;
- Propor ações para a resolução da causa da falha prioritária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

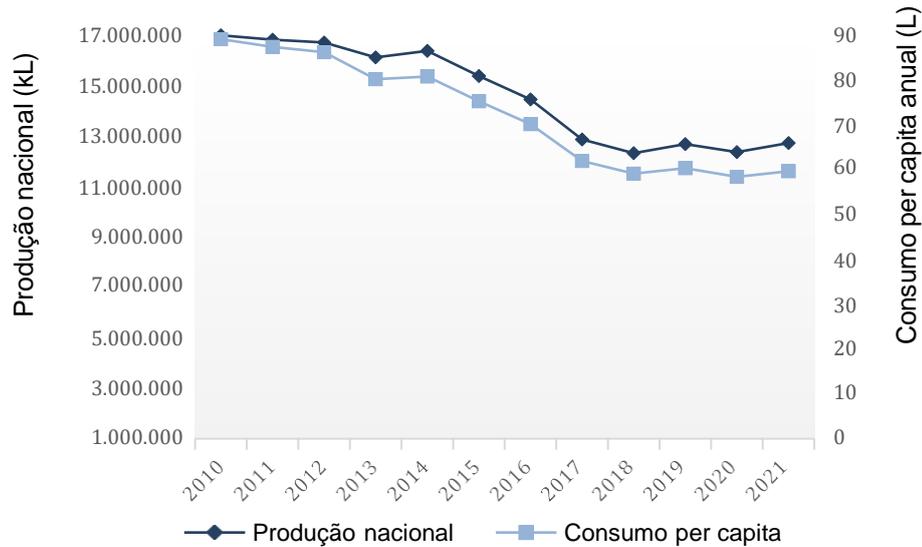
No decorrer desse tópico estão apresentados os aspectos gerais dos refrigerantes, tais como seu surgimento e desenvolvimento ao longo dos anos, sua composição e processo de produção. Também são abordadas as tendências do setor e os conceitos associados à qualidade no âmbito industrial. Ao final, encontram-se dispostos os aspectos relevantes das ferramentas e metodologias aplicadas nesse estudo de caso.

2.1 Breve histórico

As bebidas carbonatadas, como os refrigerantes, tiveram como precursores as águas minerais gasosas originadas de fontes naturais. Ao longo dos séculos XVIII e XIX, métodos e instrumentos de carbonatação foram desenvolvidos e extratos vegetais mais estáveis começaram a surgir. Tais fatores impulsionaram a fabricação e diversificação dos sabores dessas bebidas (Steen; Ashurst, 2006). O crescimento econômico experimentado pelo Brasil no início do século XX permitiu a instalação de diversas indústrias. Até a década de 1990, o mercado nacional desse setor foi dominado por duas grandes empresas, quando se percebeu um aumento nas vendas de refrigerantes de marcas regionais (ABIR, 2010 *apud* Ferreira, 2010).

Segundo dados da ABIR, entre 2010 e 2021, a produção de refrigerantes no mercado brasileiro encontrava-se em declínio, tendo alcançado a máxima de 16.961.806 kL em 2010 e a mínima de 12.297.846 kL em 2018 (Figura 1).

Figura 1 – Evolução da produção nacional e consumo de refrigerantes no país.



Fonte: a autora (2024).

O comportamento observado na Figura 1 é um reflexo da evolução da demanda no intervalo de tempo considerado, visto que o consumo per capita anual também decresceu. As crises econômicas de 2015 e 2016 e aquela gerada pela pandemia da Covid-19 em 2020 e 2021, bem como a mudança nos padrões de consumo, são algumas das possíveis causas que levaram a esse cenário (Viana, 2021).

Sendo assim, é necessário compreender todos os pontos envolvidos no processo produtivo, para que se possa reduzir custos e melhorar os benefícios. Isto começa pela escolha dos insumos que compõem o produto a ser fabricado.

2.2 Composição do refrigerante

Para que se possa entender melhor o processo de fabricação de um dado produto é necessário conhecer sua composição, ou seja, as matérias-primas usadas na sua formulação. A água é o componente majoritário nos refrigerantes e sua função é dissolver os demais componentes. Ela deve obedecer aos padrões de potabilidade em relação à presença de determinados elementos químicos e sais minerais, substâncias que conferem *flavours* não requeridos e matéria orgânica. O controle sobre esses parâmetros evita a formação e precipitação de compostos nos refrigerantes e o desenvolvimento de sabores, odores e aparência indesejados, além

de ajudar a manter sua acidez característica. Por esse motivo, o tratamento físico-químico se faz necessário e costuma ser parte do processo produtivo dessas bebidas (Ashurst, 2016).

Na produção de refrigerantes, o açúcar se apresenta na forma de xarope de sacarose. Sua função consiste em adoçar, aumentar a densidade e, dessa forma, permitir a estabilização do gás na bebida (Santos *et al.*, 2020). No caso de ser adquirido na forma de cristal, é necessário um conjunto de etapas de dissolução, filtração e aquecimento para se obter um xarope. No entanto, algumas usinas açucareiras já oferecem esse produto semielaborado e pronto para uso. Essa prática, por um lado, dispensa os recursos destinados à transformação do açúcar cristal em xarope e, por outro, apresenta a desvantagem de fazer uso de um insumo microbiologicamente mais sensível (Venturini Filho, 2010).

O termo “concentrados” refere-se aos sucos e extratos vegetais com alta concentração, os quais são diluídos ao serem empregados na fabricação de refrigerantes (Barros, 2022). Além dos concentrados, alguns aditivos alimentares podem compor a formulação (Lopes; Costa; Pascoal, 2018), constituindo o aspecto tecnológico deste produto, conforme detalha o Quadro 1.

Quadro 1 - Aditivos alimentares mais empregados em refrigerantes.

Edulcorantes	Substituem total ou parcialmente o açúcar na função de adoçante.
Antioxidantes	Retardam o aparecimento de alteração oxidativa e rancificação.
Corantes	Conferem ou intensificam a cor da bebida.
Acidulantes	Reduzem o pH da bebida, contribuindo para sua conservação e realçando o sabor.
Conservantes	Reduzem ou inibem o crescimento de microrganismos, tornando o produto mais estável.

Fonte: autora (2024).

Por fim, após serem adicionados os aditivos apresentados no Quadro 1, tem-se a inclusão do dióxido de carbono (CO₂), um dos poucos gases adequados para gerar a sensação de efervescência que agrada os consumidores de bebidas carbonatadas. Isso porque é atóxico, inerte e praticamente insípido, além de estar disponível a um custo moderado. Sua solubilidade em bebidas contendo açúcar permite uma retenção aceitável do gás em solução à pressão atmosférica e à

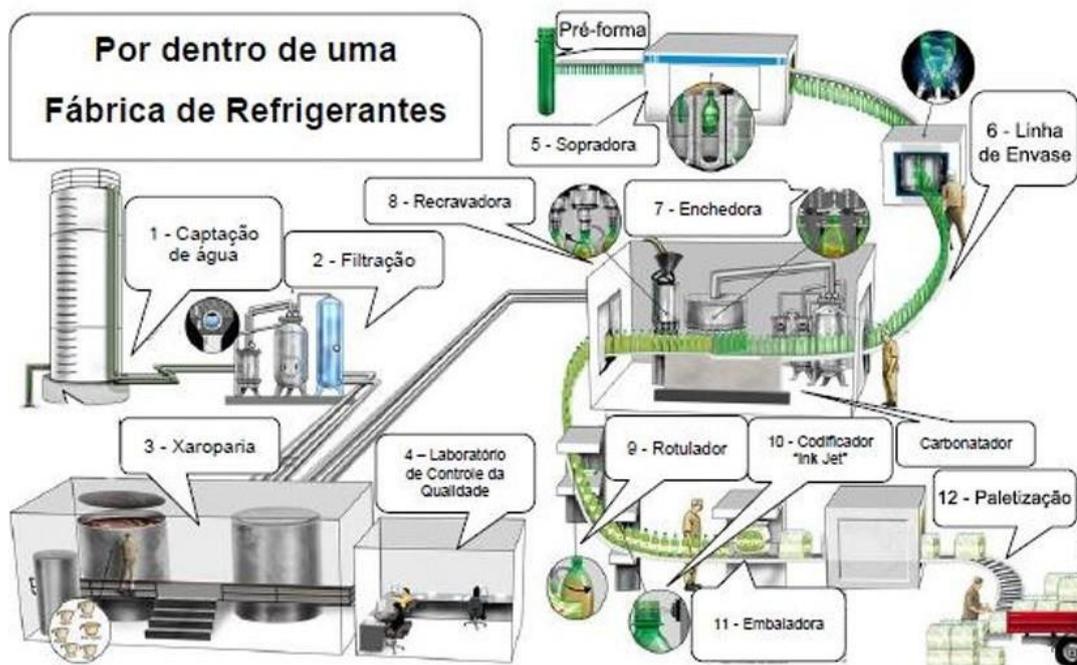
temperatura ambiente (Cuba; Torre, 2020). Ao ser dissolvido em água, resulta na formação de ácido carbônico (H_2CO_3) com liberação de íons H^+ , reduzindo o pH da bebida e criando um meio pouco propício para o desenvolvimento de microrganismos (Azeredo *et al.*, 2016).

A partir da composição clássica comentada anteriormente, surgiram algumas variações, de modo a atender as necessidades dos consumidores. Nos últimos anos, uma tendência do setor está relacionada à utilização de adoçantes de baixa caloria, levando ao surgimento de formulações *light* e *diet* que incentivam a redução da ingestão de açúcares. Segundo Chaves *et al.* (2018), as bebidas açucaradas contribuem para o ganho de peso e surgimento de alterações metabólicas. A substituição parcial ou total do açúcar cristal convencional por uma substância sintética com poder adoçante maior e com pouca ou nenhuma caloria também implica em minimização dos custos para o produtor (Ashurst, 2016). Também devido à preocupação com a saúde, a elaboração de ingredientes e/ou produtos prontos para o consumo com propriedades funcionais, assim como a incorporação de proteínas vegetais, tem ganhado força (Tireki, 2021).

2.3 Processo produtivo

Os insumos supracitados são as principais entradas do processo de produção de refrigerantes, o qual compreende o tratamento da água, a fabricação dos xaropes simples e composto, seguida da carbonatação e envase da bebida pronta para consumo. Só então a embalagem primária é lacrada e agrupada em embalagens secundárias e paletizadas, conforme pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Sistema produtivo de refrigerantes.



Fonte: Portela *et al.* (2019)

A Figura 2 ilustra, de forma abrangente, as principais atividades e maquinários envolvidos na obtenção dessa bebida. Contudo, é importante ressaltar que o escopo deste trabalho é restrito à etapa de xaroparia, indicada na imagem pelo número 3.

Nesse setor, ocorre a elaboração da bebida, que se inicia com o preparo do xarope simples. Esse é o produto da diluição do açúcar cristal em água, na concentração usual de 60 °Brix (60 g do sólido em cada 100 g de solução), e pode ser obtido por processos à frio ou à quente, acidificados ou não. Em seguida, é feita a remoção de impurezas, podendo-se utilizar filtros de carvão ativado e resinas de troca iônica. Quando obtido via aquecimento, é necessária a etapa final de resfriamento, com posterior armazenamento até a etapa seguinte (Mapero, 2022).

O processo de produção do xarope composto consiste em adicionar sucos naturais de frutas, flavorizantes, estabilizantes, conservantes, corantes, antioxidantes e outros ingredientes ao xarope simples. Esses componentes são responsáveis por diferenciar os refrigerantes, proporcionando características como cor, sabor, odor e propriedades químicas adequadas para conservação (Santos; Ribeiro, 2005). Em sistemas contínuos, a dosagem dos ingredientes é feita com

auxílio de bombas e medidores de vazão, para que o xarope composto apresente parâmetros (como teor de sólidos solúveis) em conformidade com a formulação (Ashurst, 2005).

Em seguida, realiza-se a carbonatação que, na maioria das indústrias de refrigerantes, ocorre na máquina enchedora. Na temperatura e pressão adequadas, certo volume de gás carbônico é dissolvido no xarope composto (Tireki, 2021). Alguns dos fatores que influenciam na eficiência desse processo são as pressões e temperaturas do sistema e do xarope, a presença de outros gases na bebida, bem como o tipo de embalagem e sistema de fechamento (Silvestre *et al.*, 2017).

Uma vez finalizado o processo de carbonatação, o refrigerante é conduzido ao envase. Nessa etapa, utiliza-se uma enchedora que dispõe a bebida final em recipientes previamente higienizados. Em seguida, tem-se o sistema de fechamento, que varia em função do tipo de embalagem primária, como as de polietileno tereftalato (PET), vidro ou latas de alumínio. Depois de lacradas, elas são transportadas à máquina empacotadora que irá agrupá-las para que sejam envolvidas em um filme termoencolhível e encaminhadas a um forno que fornece o calor necessário para o encolhimento do filme e formação do pack (Portela *et al.*, 2019).

2.4 Gestão da qualidade

Associado ao processo de fabricação, as indústrias de refrigerantes contam com sistemas de gestão da qualidade para assegurar a integridade do produto elaborado oferecido aos clientes e respeitar as legislações pertinentes. A NBR ISO 9000:2015 diz que “A qualidade dos produtos e serviços de uma organização é determinada pela capacidade de satisfazer os clientes e pelo impacto pretendido e não pretendido nas partes interessadas pertinentes” (ABNT, 2015, p. 2). Ao longo do tempo, suas características foram influenciadas pelos diferentes modos de produção – como o artesanal e a revolução industrial – e contextos políticos – como as guerras mundiais e os períodos pós-globalização. Um compilado das características de cada “era” apontadas por Carvalho e Paladini (2012) consta no Quadro 2.

Quadro 2 – Características da qualidade de acordo com sua evolução no tempo (continua)

Eras da qualidade	Características
Produção artesanal	<ul style="list-style-type: none"> • Artesão executava todas as atividades;

	<ul style="list-style-type: none"> • Proximidade do artesão com o cliente; • Qualidade com foco no produto; • Inspeção do produto;
--	---

Quadro 2 – Características da qualidade de acordo com sua evolução no tempo (continuação)

Eras da qualidade	Características
Controle de qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Produção em larga escala; • Alto grau de padronização; • Introdução de conceitos estatísticos; • Inspeção por amostragem e controle no processo.
Garantia da qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade tratada de forma sistêmica nas organizações; • Produção conforme a demanda; • Melhoria do processo como forma de evitar retrabalho e desperdício.
Gestão da qualidade	<ul style="list-style-type: none"> • Visão estratégica da qualidade; • Surgimento de normas e padrões internacionais; • Necessidade de superar as expectativas do cliente; • Envolvimento de todos os níveis hierárquicos; • Qualidade como vantagem competitiva.

Fonte: a autora (2024).

A mentalidade de sempre superar expectativas requer a melhoria contínua dos processos, que é feita através da investigação e identificação de oportunidades, com o objetivo de aumentar sua eficiência e sua capacidade de atender a requisitos e antecipar sua reação a novas mudanças (ABNT, 2015). Essa sistemática pode ser verificada no Análise de Modos de Falha e seus Efeitos, do inglês *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). A ferramenta foi primeiramente utilizada pela indústria de aviação dos Estados Unidos da América, e é frequentemente aplicada em diversos segmentos, seja na área de projetos, processos ou serviços. Por meio dela, um escopo é definido e o sistema é avaliado, identificando-se potenciais falhas. São mapeados as causas e os impactos, bem como os métodos de controle existentes. Para tal, são utilizados critérios como severidade, probabilidade de ocorrência e de detecção, cujo produto da pontuação resulta no número de prioridade de risco

(NPR), por meio do qual são classificadas e priorizadas quanto a sua criticidade. Posteriormente, medidas de resolução são propostas para eliminar ou minimizar tais falhas, reduzindo tempo e custo associados ao seu reparo (Wu; Liu; Nie, 2021).

Para isso, é necessário amplo conhecimento do processo. Nesse sentido, os fluxogramas são excelentes para representar graficamente a sequência das atividades a serem desenvolvidas e as conexões entre elas (Vieira, 2020). Uma vez identificado e priorizado o problema, pode-se utilizar outras técnicas para elaborar planos de ação. O diagrama de Ishikawa, também denominado diagrama de espinha de peixe, é uma ferramenta expositiva de causas ou fatores que contribuem diretamente para um efeito ou problema, facilitando a reparação de defeitos. Para sua concepção, é imprescindível a escuta ativa e participação dos envolvidos no processo, sem que haja inibição nas ideias apresentadas (Loiola; Yamashita, 2023). De acordo com a norma ISO 9000, uma organização que planeja e implementa ações para abordar riscos e oportunidades está contribuindo para o aumento da eficácia de seu sistema de gestão da qualidade. Esse pensamento inclui a adoção de ações para eliminar uma não conformidade identificada (isto é, uma correção), para prevenir recorrências (de caráter corretivo) e/ou para eliminar não conformidades potenciais (de caráter preventivo) (ABNT, 2015).

3 METODOLOGIA

O estudo de caso foi realizado em uma fábrica engarrafadora de refrigerantes situada no estado de Pernambuco, tendo como objeto de estudo o setor de xaroparia. Foram utilizados conceitos e metodologias de gestão da qualidade já descritos na literatura para mapear possíveis modos de falha no processo de fabricação do xarope final e propor ações para resolução desses problemas.

3.1 Relação entre não-conformidade e xaroparia

Para melhor compreender a importância desse estudo, buscou-se, previamente, identificar quais eram os principais defeitos e com que frequência eram percebidos. Para isso, fez-se uso da plataforma de gestão de não conformidades já utilizada pela empresa, filtrando-se, ao longo do ano de 2023, os registros realizados pelo setor de Controle de Qualidade que referenciam a xaroparia como origem da não conformidade. Posteriormente, realizou-se uma análise dos dados para apresentar as principais conclusões na forma de gráficos.

3.2 Análise das etapas do processo através de um fluxograma

A etapa seguinte consistiu em realizar uma observação no local, incluindo-se infraestrutura e rotina de operação, para, posteriormente, elaborar um fluxograma do processo, com foco nos potenciais pontos de falha. Para isso, identificou-se os equipamentos, as entradas, as atividades de processamento e as saídas que compõem o processo, visando a utilização correta da notação e dos símbolos dessa ferramenta.

3.3 Levantamento dos modos de defeito, causas e efeitos

Nesta etapa, aplicou-se o método FMEA de processo, seguindo a sistemática:

- a) Listagem de etapas e/ou equipamentos envolvidos no processo;
- b) Descrição de sua função;
- c) Descrição de seu(s) modo(s) de falha potencial, conceito que está associado à perda da função;
- d) Descrição do(s) efeito(s) potencial(ais) de cada falha sobre o produto;
- e) Descrição da(s) causa(s) potencial(ais) de cada falha;

f) Avaliação da severidade do(s) efeito(s), da probabilidade de ocorrência da(s) falha(s) e de seu nível de detecção, segundo os critérios pré-estabelecidos no Quadro 3, seguido do cálculo do NPR como o produto desses três fatores;

Quadro 3 – Critérios para avaliação de severidade, probabilidade de ocorrência e detecção de falhas.

Índice	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Detecção (D)
1	Sem severidade	Improvável	Fácil detecção
2	Pouco severo	Pouco provável	Alta chance de detecção
3	Severo	Ocorre ocasionalmente	Moderada chance de detecção
4	Muito severo	Muito provável	Baixa chance de detecção
5	Extremamente severo	Ocorre frequentemente	Difícil detecção

Fonte: a autora (2024).

- g) Identificação e descrição de controles existentes, quando aplicáveis;
 h) Priorização da causa de maior NPR e elaboração de proposta de solução.

3.4 Ações propostas

Para a elaboração da proposta de solução requerida no item h do tópico 3.3, buscou-se, primeiramente, identificar as causas raízes da falha apontada como sendo a de maior prioridade através da ferramenta diagrama de Ishikawa. Em seguida, definiu-se as diretrizes para a resolução do problema, que incluíam as atividades a serem realizadas para sua contenção, correção e prevenção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da metodologia descrita anteriormente permitiu a investigação do problema em estudo através da identificação de falhas potenciais no processo de xaroparia associadas aos principais defeitos de qualidade do produto com uso da ferramenta FMEA. A análise dos seus efeitos e suas causas fundamentais, bem como as ações de resolução propostas, estão discutidas nesta seção.

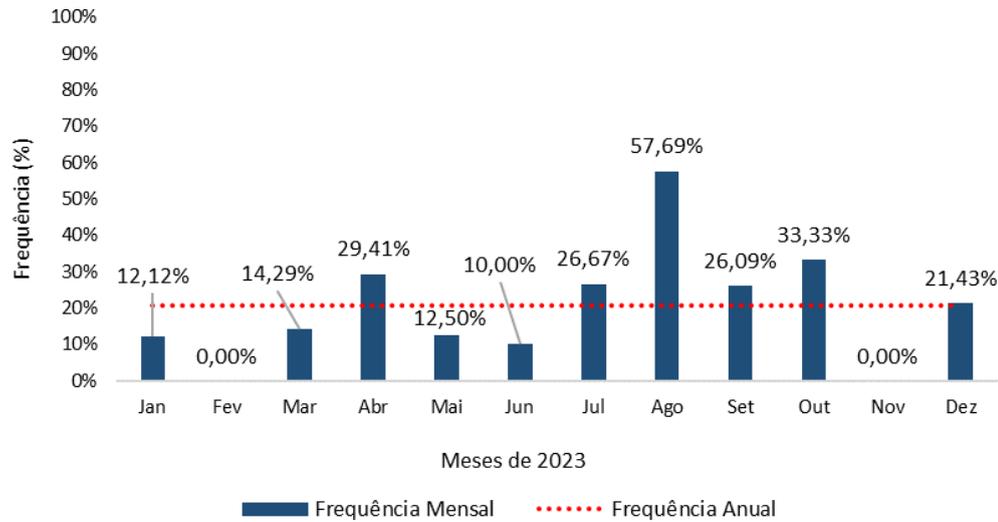
4.1 Relação entre não-conformidade e xaroparia

Após a filtragem dos dados, foram considerados somente os registros referentes aos refrigerantes de embalagens descartáveis (PET e latas de alumínio) e retornáveis (PET retornável e vidro), com volumes variando de 250 mL a 3 L, produzidos de janeiro a dezembro de 2023 na xaroparia da unidade fabril e envasados.

Em seguida, os itens que apresentaram algum tipo de desvio foram classificados, quanto à sua origem, em duas categorias: “não conformidades de xaroparia” e “não conformidades de envase”. No primeiro grupo, estão inclusas as bebidas que apresentaram problemas de acidez e/ou brix, cor, aparência ou sabor alterados, visto que esses são alguns dos parâmetros controlados nesse setor. Enquanto os dois primeiros se apresentam como valores fora de especificação, os demais são normalmente percebidos através das análises sensoriais realizadas rotineiramente pelo controle de qualidade. Já no segundo grupo, incluem-se as bebidas que apresentaram problemas de carbonatação, codificação ou embalagens primárias e secundárias e testes de qualidade.

A partir dos números de registros, calculou-se a frequência mensal de não conformidades de xaroparia. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 3.

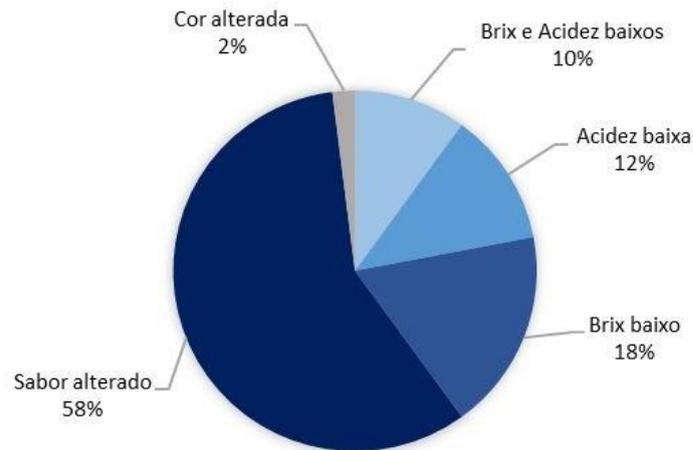
Figura 3 - Frequência mensal de registros de não conformidades de xaroparia.



Fonte: a autora (2024).

Analisando a Figura 3, percebe-se que os maiores desvios, em relação à frequência anual, ocorreram nos meses de abril, agosto e outubro. Para melhor compreender o que motivou tais registros, realizou-se uma estratificação dentro da primeira categoria, como se verifica na Figura 4.

Figura 4 - Principais defeitos associados às não conformidades.



Fonte: a autora (2024).

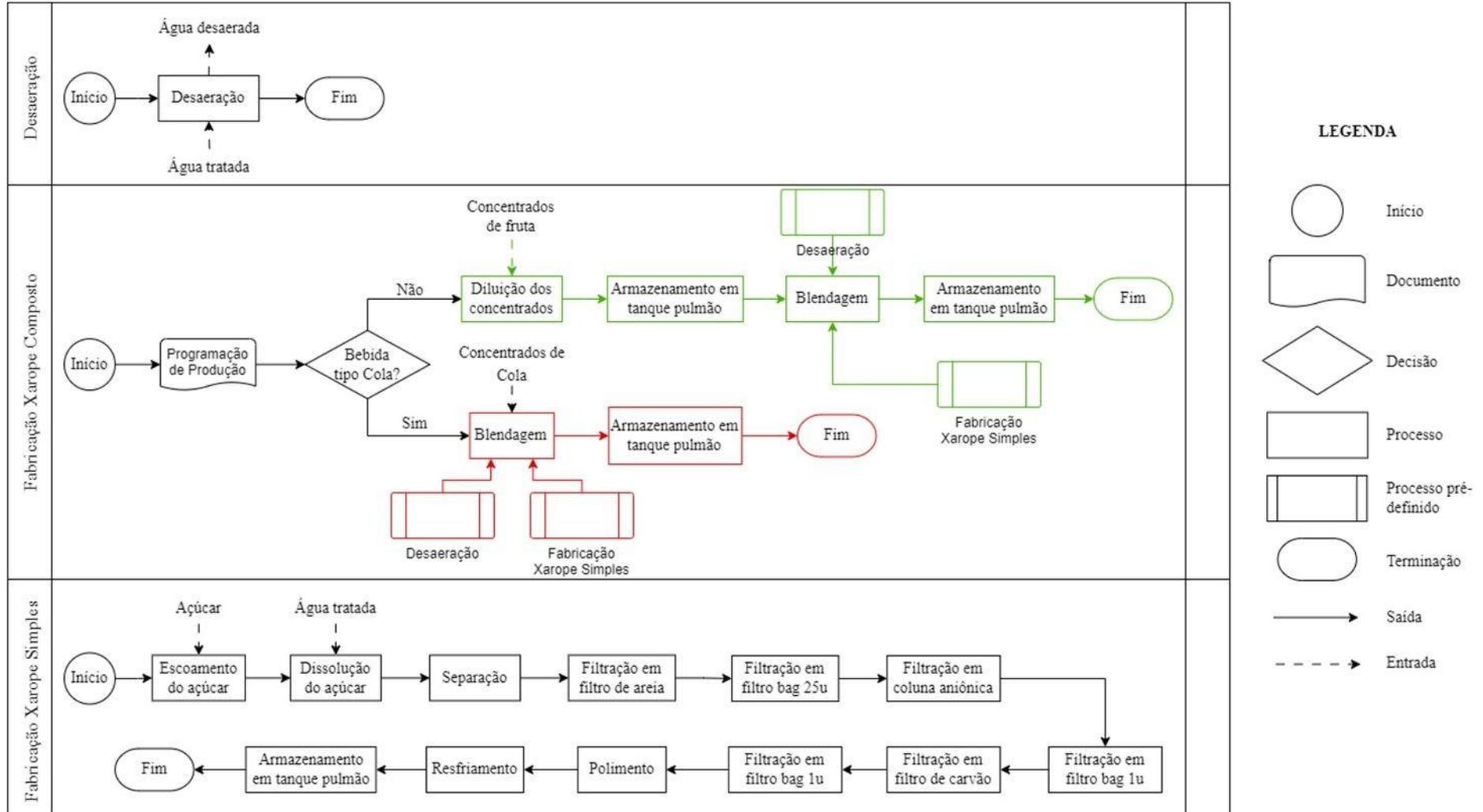
Na etapa do estudo cujos dados estão expostos na Figura 4, observou-se que o defeito mais frequente foi a alteração do sabor da bebida, seguido do brix abaixo

da mínima especificação. Algumas causas apontadas para o surgimento dessas falhas foram problemas de automação no blender, deficiência na manutenção de válvulas e medidores, falhas no cumprimento de procedimentos de mistura, ausência de comunicação entre operação e controle de qualidade. Essas falhas ocorreram de maneira aleatória durante a produção, trocas de turno e mudanças de sabores. Por outro lado, o defeito menos comum encontrado foi a alteração de cor, fato que provavelmente deve-se à rápida percepção visual do problema por qualquer operador envolvido no processo, evitando assim que seja prolongado. De posse dessas informações, passou-se à fase de elaboração de um fluxograma que permita ao colaborador compreender como se dá a disposição das etapas do processo.

4.2 Análise das etapas do processo através de um fluxograma

Para melhor compreensão, subdividiu-se o macroprocesso em 3 subprocessos distintos e complementares: fabricação do xarope simples, fabricação do xarope composto e desaeração da água. O fluxograma elaborado nesta etapa pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma de processos da xaroparia.



Fonte: a autora (2024).

4.2.1 *Fabricação do xarope simples*

A etapa de fabricação do xarope simples diz respeito às etapas envolvidas na dissolução do açúcar. Aqui, destaca-se o tanque dissolutor, onde é feita a solubilização do açúcar, previamente peneirado, em água aquecida por um trocador de calor a placas. Essa operação é facilitada por uma bomba que realiza a recirculação do fluido no tanque. Na saída, o então xarope atravessa uma câmara separadora, que retém cristais de açúcar não dissolvidos e os retorna para a dissolução.

Também merecem destaque os equipamentos de filtração: o tanque de terra diatomácea, o filtro de coluna de troca iônica – cujo elemento filtrante é uma resina aniônica – e o filtro de carvão ativado. Sua função é a remoção de partículas em suspensão e daquelas que conferem cor e odor, respectivamente. A presença de filtros polidores na saída dos grandes filtros evita a passagem do elemento filtrante junto com o xarope.

Esse subprocesso é encerrado com o resfriamento do xarope, também por meio da passagem do fluido por um trocador a placas, que opera com um gradiente de temperatura. Essa etapa é necessária para evitar a inversão da sacarose e perda de compostos voláteis do xarope composto. Por fim, armazena-se em tanques pulmão, onde permanece a uma temperatura média controlada de 30 °C até ser enviado ao subprocesso seguinte.

4.2.2 *Fabricação do xarope composto*

A depender do tipo de refrigerante, esse subprocesso sofre diferenciação. As bebidas do tipo Cola são produzidas a partir de kits de concentrados, identificados como “parte 1” e “parte 2”. Esses kits consistem em *containers* intermediários para granéis (IBC) contendo a bebida semielaborada que já contém os extratos vegetais e aditivos em sua composição. As demais bebidas (comumente identificadas por “sabores”) requerem o preparo do quase xarope. Esse nada mais é que a diluição dos sucos concentrados e aditivos (também comercializados como kits) em água tratada em um tanque misturador conforme os procedimentos de mistura.

Em seguida, tem-se a etapa de blendagem, que é o proporcionamento das partes que compõem a bebida, conforme formulação específica de cada refrigerante. Esse processo é realizado em um tanque denominado blender (Figura 6).

Figura 6 – Tanque proporcionador (blender).



Fonte: KHS Group (2024).

Na fábrica, tem-se em operação quatro equipamentos similares ao apresentado na Figura 6, que podem variar quanto ao grau de automatização e a presença de mecanismos de agitação e/ou recirculação. Esses possuem conexões para dosar até cinco fluxos de fluidos: água desaerada (*stream 1*), quase xarope (*stream 2*), xarope simples (*stream 3*) e partes A e B de concentrados de Cola (*streams 4 e 5*). Quando a receita é selecionada na Interface Homem Máquina (IHM), as conexões com os tanques pulmão bombeiam os fluidos para o blender, de modo que a proporção entre eles permaneça mais ou menos constante, e toda a operação pode ser visualizada e controlada por um supervisor.

A automatização dos blenders é feita por meio de sensores de nível, bombas, válvulas, medidores de vazão e de brix. Juntos, eles fornecem informações acerca das variáveis de controle que, em sua maioria, podem ser alteradas digitalmente pelos operadores para manter as variáveis de saída em conformidade com as especificações.

4.2.3 Desaeração da água

Essa etapa é de suma importância na fabricação de refrigerantes, uma vez que a eficiência da carbonatação, como mencionado anteriormente nesse trabalho, depende, em parte, da ausência de outros gases na bebida. Por causa da agitação decorrente da recirculação da água no tratamento físico-químico, ocorre incorporação de ar. Portanto, a função de um desaerador é retirar o gás oxigênio que se encontra dissolvido na água a ser usada na fabricação do xarope composto, tendo em vista que ele poderá ocasionar a formação de espuma quando em contato com o CO₂ (Portela *et al.*, 2019), dificultando o processo de envase, ou se solubilizar em seu lugar (Cuba; Torre, 2020).

Entre os métodos existentes para promover a desaeração, é utilizado o vácuo. A água é recirculada no interior do equipamento com pressão negativa e o ar acumulado é expulsado por uma bomba de vácuo.

4.3 Levantamento dos modos de defeito, causas e efeitos

No FMEA elaborado (Quadro 4), foram listados os equipamentos envolvidos no processo e suas respectivas funções. Em seguida, foram pontuados os modos de falha, que são as formas como se observam as perdas de funcionalidade, e a maneira como tais disfunções afetam o produto, chamada de efeito potencial. Para auxiliar na atribuição das pontuações, também foram listadas as prováveis causas dos modos de falha e seus controles preventivos e de percepção.

Quadro 4 – FMEA do processo de xaroparia (continua).

Máquina/ Equipamento	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	Severidade	Causa Potencial	Probabilidade	Controle Atual de Prevenção	Controle Atual de Detecção	Detecção	RPN
Moega	Escoamento do açúcar	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0
Peneira	Retenção de impurezas e materiais estranhos	Presença de impurezas e materiais estranhos no xarope	Contaminação por agentes físicos	3	Falha de manutenção das condições básicas da peneira	2	Inspeção e troca periódica da peneira	N/A	2	12
			Contaminação por agentes (micro)biológicos	3		2		Análise microbiológica do xarope simples	3	18
Dissolvedor	Dissolução a quente do açúcar em água até 58 a 60 °Brix	Presença de partículas não dissolvidas	Alteração da viscosidade do xarope	2	Temperatura inadequada do xarope	2	Câmara separadora	N/A	1	4
					Alta dosagem de açúcar	2			1	4
		Brix fora da faixa determinada	Xarope com brix abaixo de 58 ou acima de 60 °Brix	2	Alta/baixa dosagem de açúcar ou alta/baixa dosagem de água	3	Monitoramento <i>in line</i> do brix	Monitoramento <i>in line</i> do brix e Análise físico-química do xarope simples	1	6
Câmara separadora	Separação das partículas de açúcar não dissolvidos e devolução ao dissolvedor	Saturação do filtro	Presença de cristais de açúcar no xarope	2	Falha de manutenção das condições básicas do elemento filtrante	2	Manutenção periódica do filtro interno	N/A	2	8
Filtro de areia	Retenção de sujidades	Saturação do filtro	Contaminação por agentes físicos	3	Falha de manutenção das condições básicas do elemento filtrante	2	Regeneração e troca periódica do filtro	Monitoramento do diferencial de pressão e Análise sensorial do xarope simples	2	12
Filtro bag 25µ	Retenção de sujidades (especialmente grãos de areia)	Saturação do filtro	Contaminação por agentes físicos	3	Falha de manutenção das condições básicas do elemento filtrante	2	Troca periódica do filtro	Monitoramento do diferencial de pressão e Análise sensorial do xarope simples	2	12

Fonte: a autora (2024).

Quadro 4 – FMEA do processo de xaroparia (continua).

Máquina/ Equipamento	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	Severidade	Causa Potencial	Probabilidade	Controle Atual de Prevenção	Controle Atual de Detecção	Detecção	RPN
Coluna de troca iônica	Remoção de cor (clarificação)	Perda de eficiência da coluna	Alteração da cor do xarope simples	3	Falha de manutenção das condições básicas da resina	2	Regeneração e troca periódica da resina	Monitoramento do diferencial de pressão e Análise sensorial do xarope simples	2	12
		Interação excessiva da resina com o xarope simples	Alteração do odor do xarope simples	3	Tempo de contato excessivo	2	N/A		2	12
			Alteração do sabor do xarope simples	3	Tempo de contato excessivo	2	N/A		2	12
Filtro bag 1 μ	Retenção de sujidades (especialmente resina)	Saturação do filtro	Contaminação por agentes físicos	3	Falha de manutenção das condições básicas do elemento filtrante	2	Troca periódica do filtro	Monitoramento do diferencial de pressão e Análise sensorial do xarope simples	2	12
Filtro de carvão	Remoção de odor	Perda de eficiência do filtro	Alteração do odor do xarope simples	3	Falha de manutenção das condições básicas do elemento filtrante	2	Retrolavagem e troca periódica do carvão	Monitoramento do diferencial de pressão e Análise sensorial do xarope simples	2	12
Filtro bag 1 μ	Retenção de sujidades (especialmente carvão ativado)	Saturação do filtro	Contaminação por agentes físicos	3	Falha de manutenção das condições básicas do elemento filtrante	2	Troca periódica do filtro	Monitoramento do diferencial de pressão e Análise sensorial do xarope simples	2	12
Polidores 10 μ	Retenção de sujidades	Saturação do filtro	Contaminação por agentes físicos	3	Falha de manutenção das condições básicas do elemento filtrante	2	Troca periódica do filtro	Monitoramento do diferencial de pressão e Análise sensorial do xarope simples	2	12
Resfriador	Resfriamento gradual do xarope simples até 20 a 30 °C	Resfriamento não gradual	Alteração da cor do xarope simples	3	Temperatura ou vazão inadequada do fluido refrigerante	2	Monitoramento <i>in line</i> da temperatura	Monitoramento <i>in line</i> da temperatura	1	6
			Alteração do sabor do xarope simples	3	Temperatura ou vazão inadequada do fluido refrigerante	2			1	6
		Resfriamento insuficiente	Temperatura do xarope acima de 30°C	2	Temperatura ou vazão inadequada do fluido refrigerante	2			2	1

Fonte: a autora (2024).

Quadro 4 – FMEA do processo de xaroparia (continuação).

Máquina/ Equipamento	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	Severidade	Causa Potencial	Probabilidade	Controle Atual de Prevenção	Controle Atual de Detecção	Detecção	RPN
Tanque de Xarope Simples	Armazenamento do Xarope Simples a 20 - 30 °C	Temperatura fora da faixa determinada	Temperatura do xarope abaixo de 20 ou acima de 30°C	2	Temperatura ou vazão inadequada do fluido refrigerante	2	Monitoramento <i>in line</i> da temperatura	Monitoramento <i>in line</i> da temperatura	1	4
Misturador	Diluição dos concentrados de sabores em água de acordo com a formulação de cada bebida	Mistura de formulações	Alteração do sabor do QX	3	Falha operacional: troca de bases da bebida	3	N/A	Análise sensorial do quase xarope	2	18
		Acidez fora da faixa determinada para cada bebida	Acidez alta	3	Baixa dosagem de água	3	N/A	Análise físico-química do quase xarope	2	18
					Alta dosagem de concentrado	3			2	18
			Acidez baixa	3	Alta dosagem de água	3			2	18
					Baixa dosagem de concentrado	3			2	18
Tanque de Quase Xarope	Armazenamento do Quase Xarope pelo tempo estabelecido	Extrapolação do tempo estabelecido para armazenamento	Contaminação microbiológica	4	Paradas na produção	3	N/A	Análise microbiológica do quase xarope	3	36
Desaerador	Remoção de ar da água	Presença de ar na água	CO2 baixo na bebida	3	Ineficiência da bomba	2	Manutenção periódica da bomba	N/A	2	12
			Alteração do sabor da bebida	3		2			2	12
Blender	Proporcionamento da bebida pela junção das partes conforme cada formulação	Formulação incorreta (sabor alterado)	Brix alto/baixo	3	Dosagem inadequada de um ou mais ingredientes	4	Monitoramento <i>in line</i> de acidez e brix	Análise físico-química do xarope composto	2	24
			Acidez alta/baixa	3		4			2	24
Tanque Pulmão	Armazenamento da bebida pelo tempo estabelecido	Extrapolação do tempo estabelecido para armazenamento	Contaminação microbiológica	4	Paradas na produção	3	N/A	Análise microbiológica do xarope composto	3	36

Fonte: a autora (2024)

A severidade está relacionada a quão grave é o efeito. Foram considerados “sem severidade” (nota 1) aqueles efeitos que não apresentam risco ao consumidor ou ao processo; “pouco severos” (nota 2) aqueles que apresentam algum risco mínimo, porém não crítico e controlável; “severos” (nota 3) aqueles que apresentam risco controlável pelo próprio processo; “muito severos” (nota 4) os que apresentam risco ao consumidor, no entanto, controlável; e “extremamente severos” (nota 5) os que apresentam risco grave, especialmente ao consumidor, e difícil de controlar.

A classificação da probabilidade de ocorrência foi baseada na Figura 4, apresentado no item 4.1, onde se pôde associar cada efeito à frequência com que surgiram no ano de 2023, de modo que os mais frequentes receberam notas mais altas.

Quanto à detecção, essa foi considerada “fácil” (nota 1) quando da existência de mecanismos de detecção ágeis (como monitoramentos em linha); “alta detecção” (nota 2) quando essa apresenta agilidade e moderada acurácia, ou vice-versa; “moderada” (nota 3) quando da existência de mecanismos de detecção tardios (como análises com dias de duração); “baixa detecção” (nota 4) quando não apresenta agilidade e é de moderada acurácia; e “difíceis” (nota 5) quando inexistentes.

O maior NPR (36) observado foi sobre o efeito de contaminação microbiológica que pode acontecer devido às paradas operacionais. Isso ocorre uma vez que o quase xarope e o xarope composto não são consumidos pelo envase dentro de seu prazo de vencimento. No entanto, o histórico demonstra que os principais eventos de paradas operacionais acontecem nas linhas de envase. Portanto, não é adequado afirmar que a origem do problema é a xaroparia. Optou-se por direcionar o foco sobre o segundo maior NPR (24), que está associado à formulação incorreta nos tanques proporcionadores, resultando em bebida com sabor alterado.

4.4 Ações propostas

Para tornar mais assertiva a intervenção sobre o problema de formulação incorreta do xarope composto, buscou-se investigar quais fatores poderiam estar relacionados ao seu surgimento. Com esse intuito, utilizou-se o Diagrama de Ishikawa (Figura 7), agrupando as possíveis causas, de acordo com sua origem, em

seis categorias: matéria-prima, mão-de-obra, método, medida, meio ambiente e máquina.

Figura 7 – Diagrama de Ishikawa desenvolvido para o problema de formulação incorreta.



Fonte: a autora (2024).

No contexto da ferramenta apresentada na Figura 7, a cabeça do peixe representa o problema analisado enquanto os ramos representam as prováveis causas levantadas em conjunto com a operação, que compõem a “espinha dorsal” no sentido de que sustentam a ocorrência da problemática.

Em relação à matéria-prima, quando ocorrem erros no preparo do xarope simples, do quase xarope ou dos concentrados de cola, a falha pode perdurar até a etapa de blendagem. No primeiro caso, a presença de medidores de brix *on line* tende a evitar o problema; no segundo, existe a etapa de análise físico-química do quase xarope pelo controle de qualidade para atestar que sua acidez se encontra dentro da especificação. Só após essa análise, o insumo é liberado para o processo. Quanto ao kit de concentrados de cola, o único controle existente é a inspeção de recebimento, onde se avaliam as condições da carga (como temperatura do transporte) e seu laudo de qualidade.

Na categoria mão-de-obra, observou-se que a falta de domínio dos procedimentos operacionais pelos operadores, bem como a falta de comunicação entre os turnos, pode levar a erros de processo. Essa observação muito tem a ver

com a complexidade de alguns procedimentos e, até mesmo, a ausência deles, fazendo com que algumas operações fossem executas sem padronização.

Outra possibilidade é a presença de resquícios de bebidas anteriores nos tanques e tubulações. Mesmo com a obrigatoriedade da higienização das partes dos equipamentos após cada produção, a presença de “pontos mortos”, isto é, de locais de difícil acesso onde a limpeza não pode ser realizada de forma eficiente, pode levar ao acúmulo de líquidos que passaram pelo circuito previamente e acabam por se misturar à bebida em processo, embora essa ocorrência seja pouco frequente.

Por outro lado, a rotina demonstrou que as principais ocorrências de sabor alterado na bebida são devido às falhas de automação dos blenders. A formulação se mantém constante quando as vazões dos *streams* são ajustadas e esse ajuste depende especialmente do bom funcionamento dos sensores de nível e medidores de vazão e de brix. Quando esse sistema falha, a proporção entre os insumos sofre desbalanceamento, impactando no sabor e, até mesmo, na aparência.

Além do citado anteriormente, outro fator que costuma gerar muitas ocorrências de alteração de sabor é o mau funcionamento de válvulas e bombas. Isso porque esse sistema é responsável pelo transporte dos insumos ao receber comandos do sistema de automação. Se não receberem manutenção adequada, esses elementos mecânicos podem vir a falhar e deixar de desempenhar sua função adequadamente.

Diante de tais conhecimentos, foram propostas ações a serem tomadas para atenuar ou mitigar o efeito provocado pelas causas levantadas (Quadro 5).

Quadro 5 – Ações propostas para o problema de formulação incorreta.

Categoria	Causas	Ação de contenção	Ação corretiva	Ação preventiva
Matéria-prima	Xarope simples e/ou demais entradas fora de especificação	Interromper a produção do blender	Corrigir parâmetro de controle do insumo fora de especificação pela intervenção em outro subprocesso	Cumprimento das análises sensoriais de bancada na frequência correta ou com frequência superior até a normalização
		Alinhar a outro tanque pulmão, se disponível		
Mão-de-obra	Descumprimento de procedimentos operacionais de fabricação de bebida	N/A	N/A	Divulgação do caso de problema e treinamento da operação no procedimento em questão
	Falha na comunicação entre turnos	N/A	N/A	Elaboração de gestão visual acerca das principais ocorrências nos turnos
Método	Ausência de procedimentos operacionais para certas atividades	N/A	Elaboração de procedimentos para atividades não documentadas	Treinamento da operação no novo procedimento
	Procedimentos operacionais com linguagem complexa ou pouco detalhados	N/A	Revisão do procedimento em questão	Treinamento da operação na nova procedimento
Medida	Falha no software de automação dos blenders	N/A	Verificar a integridade dos elementos de controle que apresentaram falhas, fazendo reparo ou troca imediata se possível e se necessário	Verificar a existência de planos de manutenção para os elementos de controle. Caso não existam, elaborar.
	Falha em sensores de nível dos tanques pulmão	N/A	Verificar a integridade dos sensores que apresentaram falhas, fazendo reparo ou troca imediata se possível e se necessário	Verificar a existência de planos de manutenção para os sensores. Caso não existam, elaborar.
Máquina	Falha no sistema de bombas e válvulas	Habilitar modo de operação manual nos elementos de controle que permitirem	Verificar a integridade das válvulas e bombas que apresentaram falhas, fazendo reparo ou troca imediata se possível e se necessário	Verificar a existência de planos de manutenção para os sensores. Caso não existam, elaborar.
Meio ambiente	Resíduo de bebida anterior no circuito do blender	Interromper a produção do blender	Higienização do circuito	Mapear e eliminar pontos mortos
				Garantir o cumprimento do procedimento de higienização no que diz respeito às concentrações dos sanitizantes e ao tempo de contato, bem como a liberação pelo CQ

Fonte: a autora (2024).

Para isso, considerou-se ações de contenção, ou seja, aquelas que devem ser executadas tão logo o problema é observado, evitando que se propague. Um exemplo disso é quando, ao interromper-se a produção do blender, evita-se a geração de mais volume de bebida fora de especificação e, conseqüentemente, o desperdício de recursos. Outro grupo de ações consideradas foram as corretivas, que podem ser executadas simultaneamente ao tipo anterior, objetivando restabelecer a condição normal de operação. Entre elas, pode-se citar a troca de componentes defeituosos, como válvulas e medidores. Também foram propostas ações preventivas, com intuito de evitar a recorrência do problema, podendo-se citar a elaboração de planos de manutenção para os componentes em que não eram realizadas manutenções periódicas, o que tende a contribuir para sua degradação precoce.

5 CONCLUSÃO

Os estudos conduzidos neste trabalho permitiram o alcance dos objetivos no que diz respeito à identificação de desvios de qualidade na fabricação de refrigerantes, demonstrando a eficácia das ferramentas aplicadas. Através do histórico de não-conformidades, tornaram-se conhecidos os principais defeitos relacionados ao processo de xaroparia e sua participação no todo, em que se destacaram as ocorrências de alteração de sabor da bebida. Com o fluxograma elaborado, foi possível compreender as principais atividades envolvidas no processo produtivo, de modo que foram identificados alguns potenciais desvios a serem apontados no FMEA.

Essa ferramenta, por sua vez, passou a servir como registro das falhas potenciais mapeadas, de modo que a empresa possa usar essa informação para conduzir melhorias futuras no setor de xaroparia. Além disso, o cálculo do NPR evidenciou o erro de formulação na etapa de blendagem como o modo de falha com maior prioridade de resolução, sendo sua alta probabilidade de ocorrência o critério determinante dessa avaliação. Depois de priorizado o problema, o delineamento do Diagrama de Ishikawa levou à descoberta das causas principais do problema, entre as quais pode-se destacar as falhas de automação dos blenders e o mau funcionamento de bombas e válvulas, além de outras que estão associadas às matérias-primas, ao meio e aos métodos e operadores.

A partir do conhecimento das causas, as ações propostas foram concebidas de modo a contemplar a resolução no curto e longo prazo, através de ações de contenção (como a interrupção da produção dos blenders) e corretivas (a exemplo das verificações e trocas de dispositivos defeituosos) e preventivas (como a elaboração de novos procedimentos), respectivamente. Assim, espera-se reestabelecer o controle do processo e seu bom funcionamento, bem como evidenciar a necessidade de melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 9000:2015: Sistemas de gestão da qualidade — Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AGUIAR, M. F.; JUGEND, D.; SOUZA, F. B.; MARIANO, E. B. Interações entre manutenção produtiva total e gestão da qualidade total: estudo de caso em uma empresa do setor alimentício. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, v. 14, n. 3, p. 122 – 134, 2019.

ASHURST, P. R. (Editor). **Chemistry and technology de soft drinks and fruit juices**. 3ª ed. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd, 2016

ASHURST, P. R. (Editor). **Chemistry and technology de soft drinks and fruit juices**. Hereford: Blackwell Publishing, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE REFRIGERANTES E BEBIDAS NÃO ALCÓOLICAS. Refrigerantes. Disponível em: <https://abir.org.br/o-setor/dados/refrigerantes/>. Acesso em: 02 novembro 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE REFRIGERANTES E BEBIDAS NÃO ALCÓOLICAS. **Revista ABIR**. Brasília, 2022.

AZEREDO, D. R. P.; ALVARENGA, V.; SANT'ANA, A. S.; SABAA SRUR, A. U. O. An overview of microorganisms and factors contributing for the microbial stability of carbonated soft drinks. **Food Research International**, v. 82, p. 136 – 144, abr. 2016.

BARROS, A. F. A. **A interferência de condutas tributárias na concorrência: o caso dos concentrados para refrigerantes produzidos na Zona Franca de Manaus**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Economia, Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa. Brasília, p. 61, 2022.

BRASIL. Portaria MAPA N° 123, de 13 de maio de 2021. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para bebida composta, chá, refresco, refrigerante, soda e, quando couber, os respectivos preparados sólidos e líquidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: seção 1, Brasília, DF, v. 123, n. 123, p. 5. 14 mai. 2021.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. (Coord.). **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CELESTINO, S. M. C. **Produção de refrigerantes de frutas**. 1ª ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010.

CHAVES, O. C.; VELASQUEZ-MENDELEZ, G.; COSTA, D. A. S.; CAIAFFA, W. T. Consumo de refrigerantes e índice de massa corporal em adolescentes brasileiros: Pesquisa Nacional de Saúde do Escolar. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 21. 2018.

CUBA, C. G.; TORRE, H. R. C. **Otimização da absorção de Dióxido de Carbono em bebidas empregando Venturi**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Nacional del Callao. Callao, p. 79, 2020.

EPIFÂNIO, S. B. O.; SILVEIRA, J. A. C.; MENEZES, R. C. E.; MARINHO, P. M.; BREBAL, K. M. M.; LONGO-SILVA, G. Análise de série temporal do consumo de bebidas açucaradas. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 7, p. 2529 – 2540, jul. 2020.

FERREIRA, M. C. M. **Sistemas de qualidade na produção de refrigerantes com base na satisfação de consumidores**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 110 f., 2010.

LOIOLA, L. M. S.; YAMASHITA, G. H. **Aprimoramento do processo de clean-in-place (CIP) alcalino em uma linha de produção de refrigerantes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 24, 2023.

LOPES, E. D. S.; COSTA, M. C.; PASCOAL, D. R. C. O refrigerante e seus componentes: os efeitos ao organismo humano. *In*: Semana de Mobilização Científica, 21., 2018, Salvador. **Anais [...]** Salvador: Universidade Católica de Salvador, 2018.

MAPERO, M. C. M. **Uso de estatística multivariada para a avaliação da qualidade do xarope de açúcar bruto usado no preparo de refrigerantes**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 61 f., 2022.

PAULA, A. S.; GAMBI, L. N. Aplicação de Ferramentas da Qualidade: Estudo de Caso em um Laticínio. **Revista FSA**, Teresina, v. 20, n. 1, p. 309 – 335, 2023.

PORTELA, V. V.; BARBOSA, M. A. P.; SOUSA, D. S. V.; SANCHO, E. O. Análise do impacto que a elevação da temperatura de armazenamento do refrigerante sabor guaraná ocasiona em sua carbonatação. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 9., 2019, Ponta Grossa. **Anais [...]** Ponta Grossa: 2019.

SANTOS, F. M.; SARAIVA, S. H.; MARADINI FILHO, A. M.; TEIXEIRA, L. J. Q. Influência da concentração de extratos de malte e do açúcar adicionado no teor de açúcar total de refrigerantes de malte. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 6, p. 18323 – 18330, 2020.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. **Cervejas e refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005.

SILVESTRE, D. B.; CUNHA, A. T.; OLIVEIRA, C. C. S.; GUIMARÃES, I. C.; MORAES, A. R. F. Avaliação da perda de carbonatação e alteração de °brix e densidade de refrigerante de cola envasado em garrafa de polietileno tereftalato (PET) e latas de alumínio. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 6, p. 851 – 856, 2017.

STEEN, D. P.; ASHURST, P. R. (Editores). **Carbonated soft drinks: formulation and manufacture**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.

TIREKI, S. A review on packed non-alcoholic beverages: Ingredients, production, trends and future opportunities for functional product development. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 442 – 454, jun. 2021.

VENTURINI FILHO, W. G. (Coord.). **Bebidas não alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2010.

VIANA, F. L. E. Indústria de bebidas não alcoólicas. **Banco do Nordeste: Caderno Setorial ETENE**, v. 6, n. 175, p. 1 – 8. ano 1, jul. 2021.

VIEIRA, E. L. Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 6, n. 1, 2020.

WU, Z.; L, W.; NIE, W. Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 112, p. 1409 – 1436.